

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DE CHIMIE

N° :



DOMAINE : science de la matière

OPTION : CHIMIE DE L'ENVIRONNEMENT

Mémoire présenté pour l'obtention

Du diplôme de Master Académique

Par :

MEHEGUEG CHERIHAN

DJELID CHAHINEZ

Intitulé



**Traitement des eaux usées par un système hybride
Photocatalyse-Adsorption**

Soutenu devant le jury composé de :

Pr : DEBIH.H

Université de M'sila

Président

Dr : TERCHLS

Université de M'sila

Rapporteur

Dr : DJEHICHE.M

Université de M'sila

Examineur

Année universitaire : 2023 /2022

REMERCIEMENTS

Nous commençons par remercier Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté, l'amour du savoir et surtout la patience pour pouvoir produire ce modeste travail

*C'est pour nous autant de plaisir qu'un devoir d'exprimer notre gratitude et notre reconnaissance à M. **SMAIL TERCHI** qui nous a orientée et guidée afin de mener à bien ce travail.*

*Ainsi que Nous remercions aussi très sincèrement les membres de jury le président M. **DEBIH.H** et l'examineur M. **DJEHICHE.M** d'avoir accepté d'évaluer notre travail ;*

*Nous voudrions aussi témoigner notre reconnaissance et exprimer toute notre gratitude à nos enseignants qui ont aidés-nous pour une grande part dans ce travail à M. **BAHRI DEGHEFEL** et M. **ELHADJ BENREZGUA**, **Abdelhamid GUELLIL** et M. **ABDERRAHIM SIASSI***

Enfin, nous tenons à remercier toute personne qui a contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail et à tous ceux qui nous ont apporté leur aide.

إهداء

قال الله تعالى {يرفع الله الذين امنوا منكم والذين اوتوا العلم درجات}

الحمد لله أولا واخرا ما توفيقى الا بالله

اهدي تخرجي هذا الى الذي اشتعل رأسه شيبا في سبيل رعايتنا والذي دعمني في مشواري الدراسي وكان وراء كل خطوة خطوتها في طريق العلم أبي الغالي.

الى التي لا يحلو الوجود الا باسمها الى حبيبة القلب والروح التي هبتني حبها وحنانها وسهرت معي وساندنتني في كل خطوة خطوتها في حياتي الى من كان دعاؤها سر نجاحي وكانت معي في اسوء حالاتي وظروفي وضغوطاتي أمي الحبيبة.

انا هنا اليوم بفضلكما

الى من هم إنس عمري ومخزن ذكرياتي اخوتي (منار -رتاج - سجود - احمد) دتمم سندا لي.

والى كل افراد العائلة الذين شاركوني فرحتي.

شهبناز

اهداء

بفضل من الله أنهيت عملي وأنا اليوم أخرج

أهديه الى غاليتي وما تحت أقدامها جنتي وكل أقداري السعيدة، الى التي رافقتني الدرب وكانت المؤنسة
والمشجعة التي شاركتني همومي وأحزاني وكل حالاتي... أمي حبيبتني

الى من حصد الأشواك عن دربي ليمهد لي طريق العلم أمان منزلنا وطمانينة قلبي، جمهوري

وكل محبيني ... أبي الغالي

الى اخوتي الذكور هشام عضدي السند الثابت الذي لا يميل لا طالما اعتمدت عليك في كل صغيرة وكبيرة
ولم تتهاون أبدا

وصديق الطفولة توأم الروح أخي الحبيب أكرم ومن كرم الله علي وجودك جانبي

الى اخوتي البنات منار وفرح أميرات قلبي وكل من أعرفه ولم أنكره.

شريهان

Sommaire

Résumé	
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Listes des tableaux	
Introduction générale.....	1
Chapitre I Généralité Sur Les eaux usées et Photocatalyse-Adsorption	
I.1. Définition de La pollution de l'eau.....	3
I.2.Origines de la pollution de l'eau.....	3
I.2.1 Origine naturelle.....	3
I.2.1.1 Inondations.....	3
I.2.1.2 Le réchauffement climatique.....	4
I.2.1.3 Érosion du littoral.....	4
I.2.1.4 Activité volcanique.....	4
I.2.1.5 Bactéries.....	5
I.2.1.6 Les eaux pluviales.....	5
I.2.2 Origine humaine.....	5
I.2.2.1 La pollution de l'eau domestique.....	5
I.2.2.2 La pollution de l'eau industrielle.....	5
I.2.2.3 La pollution de l'eau agricole.....	6
I.3Caractéristique des eaux usées.....	6
I.3.1 Caractéristique physique.....	6
I.3.1.1 La température.....	6
I.3.1.2 La turbidité.....	6
I.3.1.3 Matière en suspension (MES).....	7
I.3.1.4 Les matières volatiles en suspension (MVS).....	7
I.3.1.5 Les matières minérales sèches (MMS).....	7

I.3.1.6 Les matières décantables.....	7
I.3.1.7La conductivité électrique.....	8
I.3.2Caractéristique chimique.....	8
I.3.2.1 La demande chimique en oxygène (DCO).....	8
I.3.2.2 Le PH.....	9
I.3.2.3 L'oxygène dissous.....	9
I.3.2.4 Le phosphore.....	10
I.3.2.5 Azotées.....	10
I.3.2.5.1Azote et ses dérivés.....	11
I.3.2.5.2L'azote ammoniacal (NH ₄ ⁺).....	11
I.3.2.5.3Les nitrites (NO ₂ ⁻).....	11
I.3.2.5.4Les nitrates (NO ₃ ⁻).....	11
I.3.2.6 Les métaux lourds.....	12
I.3.3Caractéristique biologique.....	12
I.3.3.1Demande biochimique ou biologique en oxygène (DBO).....	12
I.3.3.2LA DBO ₅	12
I.3.3.3Rapport DCO/DBO ₅	12
I.3.3.4La biodégradabilité.....	13
I.3.3.5Les virus.....	13
I.3.3.6Les bactéries.....	14
I.4Différents polluants de la pollution de l'eau.....	15
I.4.1Les polluants physiques.....	15
I.4.2Les polluants chimiques.....	15
I.4.2.1Pollution par les métaux lourds.....	15
I.4.2.2Les sels minéraux.....	16
I.4.2.3Les nitrates.....	16
I.4.2.4Les sulfates.....	16

I.4.2.5Phosphates.....	16
I.4.3Les polluants biologiques.....	17
I.5Les effets de la pollution de l'eau.....	17
I.5.1Les effets écologiques.....	17
I.5.2Effets de la pollution de l'eau sur la santé humaine.....	18
I.5.2.1Eau potable contaminée.....	18
I.5.2.2Exposition aux toxines.....	18
I.5.2.3Problèmes respiratoires.....	18
I.5.2.4Problèmes cardiovasculaires.....	18
I.5.2.5Cancer.....	18
I.6Méthode de traitement eaux usée.....	18
I.6.1Méthode biologique.....	19
I.6.1.1Traitements anaérobies.....	19
I.6.1.2Traitement aérobie.....	19
I.6.2Méthodes chimiques.....	19
I.6.3Méthodes physiques.....	20
I.6.3.1Technique membranaire.....	20
I.6.3.2Méthode physico-chimique : Coagulation – Flocculation.....	20
I.6.3.3Adsorption sur charbon actif et autres matériaux.....	21
I.7Définition adsorption.....	21
I.7.1Les différents types d'adsorption.....	21
I.7.1.1Adsorption physique.....	21
I.7.1.2Adsorption chimique.....	21
I.7.2Les adsorbants.....	22
I.7.2.1Principaux types d'adsorbants.....	23
I.7.2.1.1La bentonite.....	23
I.7.2.1.2Le charbon actif.....	23

I.7.2.1.2.1 La porosité des charbons actifs.....	23
I.7.3 Mécanisme d'adsorption.....	24
I.8 Définition photocatalyse.....	25
I.8.1 Principe de la photocatalyse.....	25
I.8.2 Description et caractéristiques du radical hydroxyle OH.....	26
I.8.3 Mécanisme d'oxydation par le radical hydroxyle.....	27
I.8.4 Type de photocatalyse.....	27
I.8.4.1 Photodégradation directe.....	27
I.8.4.2 Photodégradation indirecte.....	28
I.8.4.2.1 Photocatalyse homogène.....	28
I.8.4.2.2 Photocatalyse hétérogène.....	29
I.8.4.2.2.1 L'oxyde de zinc.....	30
I.9 Cadre réglementaire.....	31
I.9.1 Normes Algériennes.....	31
I.9.2 Normes Internationales.....	32

Chapitre II matériel et méthode

II.1. Matériels et produits utilisé	33
II.2. Définition générale de la STEP	34
II.3 Objectifs principaux d'une station d'épuration.....	34
II.4. Situation géographique de la zone d'étude	34
II.5 Description générale de la Station d'épuration.....	35
II-6 Préparation du charbon actif.....	35
II-7 Préparation des échantillons noyaux d'olive avec acétate de Zn.....	37
II.7.1 Solution Zn pure.....	37
II-7.2 Solution 5% (Zn 5%, noyaux d'olive 95%).....	38
II-7.3 Solution 10% (Zn 10%, noyaux d'olive 90%).....	39
II.7.4 Solution 20% (Zn 20%, noyaux d'olive 80%).....	40

II.7.5 Solution 50% (Zn 50%, noyaux d'olive 50%).....	40
II.7.6 Solution 80% (Zn 80%, noyaux d'olive 20%).....	41
II.7.7 Solution 0% (Zn 0%, noyaux d'olive 100%).....	42
II.8 Preparations des charbon actif avec le cuivre.....	42
II.8.1 Solution 5% (Cu 5%, charbon actif 95%).....	42
II.8.2 Solution 10 % (Cu 10%, charbon actif 90%).....	43
II.8.3 Solution 20% (Cu 20%, charbon actif 80%).....	43
II.8.4 solution 50% (Cu 50%, charbon actif 50%).....	44
II.8.5 Solution 80% (Cu 80%, charbon actif 20%).....	44
II.8.6 Solution nitrate de cuivre pur.....	44
II.9 Traitement des eaux usée de la station d'épuration (STEP) de la ville de M'sila	45
Chapitre III. Résultats et intrpetation	
III.1 Résultat de caractérisation des échantillons élaborés.....	48
III.1.1 DRX.....	48
III.1.2 IR.....	50
III.1.3 UV-VISIBLE.....	53
III.2 Résultats de traitement de l'eau par photocatalyse-adsorption.....	54
III.2.1 Résultats de traitement de l'eau par Adsorption.....	54
III.2.2 Résultats de traitement de l'eau par photocatalyse.....	54
III.3 Résultats UV-Visible.....	55
III.3.1 Résultats Adsorption.....	55
III.3.2 Résultats de photocatalyse.....	56
Conclusion.....	60
Références bibliographiques	61

Liste des abréviations

- CE : Conductivité électrique(**ms**).
- SDT : Solide dissous totale(**g/l**)
- COT : carbone organique totale.
- DBO₅ : Demande biochimique en oxygène pendant 5 jours (**mg/L**).
- DCO : Demande biochimique en oxygène (**mg/L**).
- EH : L'équivalent habitant.
- MES : Matière en suspension(**mg/L**).
- MMS : Matière minérale en suspension(**mg/L**).
- MVS : Matière volatiles en suspension(**mg/L**).
- MO : Matière Organique.
- NT : L'azote total(**mg/L**).
- OMS : Organique Mondiale de la santé.
- PH : potentiel hydrogène.
- STEP : Station d'épuration.
- T : Température (°C).
- NO : noyaux d'olive.
- K : Le coefficient de la biodégradabilité.
- PCB : bipheyespolychlores
- CA : charbon actif
- CAO : noyaux d'olive calciné
- BV : bande de valence
- BC : bande de conduction
- UV : Ultraviolet
- IR : Infrarouge

Liste des figures

- Figure I-1 : Représentation schématique de la structure du CA en deux dimensions
- Figure I-2 : Représentation schématique de la structure du CA en- (a) trois dimensions
- Figure I-3: Mécanisme d'adsorption
- Figure I-4 : schéma de transfert de charge entre deux semi- conducteurs
- Figure I-5 : Principe de la photocatalyse
- FigureII-1: lavage et broyage, séchage noyaux d'olive
- FigureII-2 : préparation de charbon actif
- Figure II-3 : lavage et broyage, tamisage charbon actif
- Figure II-4 : préparation de solution Zn pure
- Figure II-5 : préparation solution 5% (Zn 5%, noyaux d'olive 95%)
- Figure II-6 : préparation solution 10% (Zn 10%, noyaux d'olive 90%)
- Figure II-7 : préparation solution 20% (Zn 20%, noyaux d'olive 80%)
- Figure II-8 : préparation solution 50% (Zn 50%, noyaux d'olive 50%)
- Figure II-9 : préparation solution 80% (Zn 80%, noyaux d'olive 20%)
- Figure II-10: préparation solution 0% (Zn 0%, noyaux d'olive 100%)
- Figure II-11 : préparation série de charbon actif avec le cuivre
- Figure II-12 : traitement par adsorption de l'eau sortie
- Figure II-13 : filtration de l'eau traiter par l'adsorption.
- Figure II-14 : Conductivité électrique, pH-mètre
- Figure II-15 : l'eau traitée par l'adsorption
- Figure II-16 : traitement par photocatalyse de l'eau sortie
- Figure II-17 : l'eau traitée par photocatalyse
- FigureII.18 : appareil IR
- FigureII.19 : appareil UV-V
- Figure III.1: spectres DRX de différents échantillons élaborés (CAO/ZnO 0%, 10% et 80%).
- Figure III.2: spectres DRX de différents échantillons élaborés (CA/CuO 0%, 10 %et 80%)

Figure III.3 : spectre IR des différents échantillons élaborés de ZnO

Figure III.4: spectre IR des différents échantillons élaborés par CuO.

Figure III.5 : spectre infrarouge des échantillons CAO/ZnO élaborés

Figure III.6 : spectre infrarouge des échantillons CA/CuO élaborés.

Figure III.7: spectres UV-Visible des échantillons élaborés par ZnO

Figure III.8: spectres UV-Visible des échantillons élaborés par CuO

Figure III.9 : spectre UV Visible des eaux avant et après traitement par adsorption CAO/ ZnO.

Figure III.10 : spectre UV Visible des eaux avant et après traitement par adsorption CA /CuO.

Figure III.12 : spectre UV Visible des eaux avant et après traitement par photocatalyse CAO/ZnO

Figure III.13 : spectre UV Visible des eaux avant et après traitement par photocatalyse CA/CuO

Listes des tableaux

Tableau I-1 : Qualité de l'eau en fonction de la conductivité électrique

Tableau I-2 : Les bactéries pathogènes dans les eaux usées

Tableau I-3 : Procédé de traitement des effluents industriels

Tableau I-4 : les principales différences qui existent entre l'adsorption physique et chimique sont illustrées

Tableau I-5 : Propriétés électriques du ZnO

Tableau I-6 : Les Normes Algériennes

Tableau I-7 : Normes Internationales OMS des rejets liquides

Tableau II-1 : matériel et produits utilisé

Tableau II-2 : fiche technique de la station d'épuration

Tableau III-1 : Résultat CE, SDT, pH, T par traitement adsorption

Tableau III-2 : Résultat CE, SDT, pH, T par traitement photocatalyse.

Tableau III-3 : Résultats obtenus de rendement d'élimination des micropolluant organique



{١٣٠ الانبياء}

Introduction

Introduction Générale

La rareté de l'eau est devenue chaque jour plus préoccupante en raison de la demande croissante entre les besoins de la population et les besoins de l'agriculture et de l'industrie, Il est considéré comme l'un des sujets les plus importants sur lesquels les scientifiques et les écologistes s'intéressent à trouver d'autres moyens de le fournir. Sans l'eau, La vie est pratiquement impossible. La disponibilité d'une eau de bonne qualité, est un élément essentiel pour prévenir les maladies et l'améliorer la qualité de la vie. Nous ne devrions pas la gaspiller ou la polluer par n'importe quel moyen.

La pollution de l'eau est une menace croissante pour les personnes, c'est aussi l'une des principales causes de la pollution de l'environnement. Le recours à l'irrigation est devenue une nécessité compte tenu de l'importance du déficit hydrique pour répondre à tous les besoins en eau du pays et conserver une eau de bonne qualité épurer les eaux usées et les utiliser pour l'irrigation est une option intéressante, surtout dans notre état car elle est une source renouvelable et la fiable d'eau et d'engrais non seulement fournissant des quantités supplémentaires mais assurant également l'équilibre du cycle et la protection de l'environnement océanique, afin que nous puissions Obtenir un bon qualité des rendement agricoles car elle équivalant à une consommation saine pour la population .

L'eau est devenue comme le pétrole dans notre pays il est donc nécessaire de traiter les eaux usées en raison de son importance surtout dans les états arides et semi-arides comme région Msila, Pour éviter de les rejeter directement dans l'environnement et pour prévenir la pollution des lacs, les eaux souterraines, les rivières et les océans, afin de ne pas causer de dommages à la consommation d'oxygène de rivière car cela affecte négativement les plantes et les animaux aquatiques pouvant entraîner leur mort.

Ces dernières années, l'émergence et le développement de technologies dites propres a permis la mise en œuvre de procédés innovants qui permettent de résoudre une grande partie des problèmes environnementaux, notamment les problèmes inhérents au traitement des eaux usées. L'adsorption des polluants à l'aide de charbon actif est devenue une solution privilégiée méthode analytique, très efficace, simple d'utilisation, et économiquement viable car il est possible d'exploiter les supports Poreux, naturels ou synthétiques, les minéraux à haute valeur ajoutée peuvent être récupérés, cependant, ils restent insuffisants car ils laissent les polluants sans les détruire et les éliminer Il faut rechercher une alternative complémentaire et destructrice

aux polluants, c'est pourquoi nous avons fait appel à la photocatalyse car elle permet de compléter le traitement avec de faibles concentrations tout en réduisant le temps de traitement.

Cependant, l'utilisation de ces procédés reste limitée en raison de leur coût, et nous nous appuyons donc sur d'autres solutions réalistes telles que la combinaison de technologies pour tirer parti de leurs avantages communs pour des raisons liées à la nature différente des polluants et aux besoins limités.

L'objectif dans ce travail l'utilisation des déchets agricoles pour produire des matériaux innovants pour le traitement des eaux usées en combinaison avec des technologies d'adsorption et de photocatalyse afin de préserver l'environnement et de répondre aux besoins vitaux des organismes vivants et d'obtenir la meilleure qualité d'eau d'irrigation selon les normes légales internationales.

Ce mémoire est étude traitement eau usée par système hybride photocatalyse adsorption et leurs impacts sur l'environnement. Ce travail est subdivisions 3 chapitres:

- **Le chapitre I** : présente des généralités sur eaux usée et photocatalyse adsorption.
- **Le chapitre II** : présente matériel et méthode utilisée de de traitement eaux usée par adsorption - photocatalyse.
- **Le chapitre III** : présente les caractérisations des échantillons élaborés et résultats d'analyses et leurs interprétations.

Chapitre I

Généralité sur les eaux usées

et

Photocatalyse-adsorption

I.1 Définition de La pollution de l'eau

La pollution de l'eau est une détérioration physique, chimique, biologique ou bactériologique. Généralement des eaux usées contaminées par des contaminants solubles détruit les écosystèmes, qu'ils soient causés par l'activité humaine ou naturelle eau.

Leur origine naturelle, industrielles et agricoles et domestique, les substances toxiques préoccupantes dans les plans d'eau sont les rivières, les lacs, les aquifères souterrains de puits ou de noix provoquent deux effets.

I.2 Origines de la pollution de l'eau

Nous distinguées deux catégories de l'origine principales :

I.2.1 Origine naturelle

On entend par polluants naturels des eaux tous les phénomènes ou éléments naturels qui polluent la nature et sont causés par l'homme. Cependant, ces polluants naturels sont souvent aggravés par nos activités [1]. Voici les différents types de pollution naturelle :

- Réchauffement climatique
- Inondations
- Érosion côtière
- Activité volcanique
- Bactéries
- Pluviale

I.2.1.1 Inondations

En relation avec le polluant de l'eau précédent, nous soulignons également les inondations générées par les précipitations. Lors des inondations, l'excès d'eau entraîne toutes sortes de substances toxiques (comme les engrais ou les pesticides), des animaux morts et des déchets de toutes sortes qui dévastent la région. Ce polluant peut affecter l'hygiène des personnes et même entraîner des maladies causées par l'eau contaminée, comme le choléra ou la fièvre typhoïde, car des microorganismes pathogènes se retrouvent dans l'eau. D'autre part, il y a aussi des dommages aux infrastructures et à l'économie [1].

I.2.1.2 Le réchauffement climatique

Le phénomène d'augmentation progressive de la température près de la surface de la terre. Ce phénomène a été observé au cours des un ou deux derniers siècles. Ce changement a perturbé le régime climatique de la terre. Il existe plusieurs causes au réchauffement climatique, qui ont un effet négatif sur les humains, les plantes et les animaux. Ces causes peuvent être naturelles ou résulter d'activités humaines. Afin de limiter les problèmes, il est très important de comprendre les impacts négatifs du réchauffement climatique. La hausse des températures entraîne la fonte des calottes glaciaires, ce qui fait monter le niveau des eaux et modifie le cycle de l'eau. En outre, la qualité de l'eau se dégrade également, car les sédiments sont emportés par les eaux. Un autre effet secondaire de la hausse des températures est la perte de la biodiversité, les animaux marins étant contraints de se déplacer pour survivre ou certains d'entre eux mourant même [2].

I.2.1.3 Érosion du littoral

L'érosion côtière est un autre moyen de polluer naturellement l'eau. Il s'agit d'un phénomène naturel causé par la combinaison de processus météorologiques, climatiques, hydrodynamiques et sédimentaires avec la forme de la côte. Cette interaction entre les processus entraîne une modification du littoral. Ce phénomène naturel pollue l'eau, car l'érosion des sols, les sédiments et la poussière du littoral se retrouvent dans l'eau de mer. En cas d'érosion dans des zones où il n'y a pas d'eau, les éléments qui sont emportés dans les canaux et l'eau contaminée infectent l'eau potable [1].

I.2.1.4 Activité volcanique

Lorsque nous pensons aux cendres émises par un volcan lors de son éruption, nous les associons peut-être davantage à la pollution atmosphérique, mais nous ne devons pas oublier que les cendres qui tombent dans l'eau la polluent également. Il s'agit donc d'une forme de pollution de la mer et de l'eau douce, en fonction de la mesure dans laquelle les cendres atteignent l'eau. Lorsque les cendres tombent dans l'eau, elles entraînent une réduction de l'oxygène dans l'eau. En fait, les cendres sont bio dégradées par des bactéries qui consomment l'oxygène dissous. Avec cette réduction de l'oxygène dissous dans l'eau, la faune aquatique qui en a besoin pour vivre peut-être mise en danger. Avec la présence de cendres, de lave et d'autres éléments entraînés dans l'eau, celle-ci devient beaucoup plus trouble. En outre, le contact entre la lave et l'eau peut entraîner des pluies acides [1].

I.2.1.5 Bactéries

On trouve des bactéries presque partout sur la planète : sur terre, dans les êtres vivants, bn dans l'air et dans l'eau. En fait, ils sont la plus ancienne forme de vie connue. Il n'est pas surprenant que les bactéries existent dans l'eau et que certaines d'entre elles puissent contaminer l'eau et causer des dommages à la santé. Un exemple est la bactérie E. coli (Escherichia coli), qui n'est présente que dans l'intestin des humains et des autres animaux à sang chaud. En raison d'inondations ou de fortes pluies, comme expliqué ci-dessus, cette bactérie peut pénétrer par les débordements d'eaux usées. L'eau contaminée par ce débordement peut contaminer les sources d'eau potable et provoquer de la fièvre et des vomissements ou des douleurs abdominales [1].

I.2.1.6 Les eaux pluviales

Comprenant les eaux des pluies, les eaux de lavage et les eaux de drainage qui toutes sortes de déchets minéraux et organiques [3].

I.2.2 Origine humaine

La pollution de l'eau par l'homme peut prendre diverses formes :

I.2.2.1 La pollution de l'eau domestique

Sont constituées par :

- Les eaux ménagères (eau des toilettes, eau des cuisines) sont chargées en Détergents, Graisses, débris organiquesetc.
- Eaux de vanne chargées des matières fécales et d'urines. Les eaux usées Urbaines sont rejetées par les installations collectives (hôpitaux, écoles, commerces, habitats) [4].

I.2.2.2 La pollution de l'eau industrielle

Tous les rejets résultant d'une utilisation de l'eau autre que domestique sont qualifiés de rejets industriels. Cette définition concerne les rejets des usines, mais aussi les rejets d'activités artisanales ou commerciales. Ces eaux ont une grande variété et peuvent être toxiques pour la vie aquatique, ou pour l'homme [5].

Selon leur origine industrielle elles peuvent également contenir :

- Des graisses (industries agroalimentaires, équarrissage)
- Des hydrocarbures (raffineries)
- Des métaux (traitements de surface, métallurgie).
- Des acides, des bases et divers produits chimiques (industries chimiques divers, tanneries).
- De l'eau chaude (circuit de refroidissement des centrales thermiques).
- Des matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs) [6].

I.2.2.3 La pollution de l'eau agricole

Ce sont des masses d'eau polluées par des substances utilisées dans l'agriculture. Dans le cadre d'une agriculture efficace et intensive, les agriculteurs doivent utiliser une variété de produits d'origine industrielle ou agricole, dont certains présentent ou peuvent présenter des risques pour l'environnement, notamment la qualité de l'eau.

Il s'agit principalement :

- Des fertilisants (engrais minéraux du commerce ou déjections animales produites ou non sur l'exploitation).
- Des produits phytosanitaires (herbicides, fongicides, insecticides...) [7].

I.3 Caractéristique des eaux usées

Les eaux usées sont caractérisées selon leur composition physique, chimique et biologique. Selon les niveaux de contaminants et les réglementations locales, des traitements physiques, chimiques et/ou biologiques seront utilisés. La plupart du temps, nous combinons les trois traitements pour obtenir la meilleure qualité d'eau [8].

I.3.1 Caractéristique physique

I.3.1.1 La température

Il s'agit d'une propriété physique importante qui joue un rôle dans la solubilité des sels, en particulier des gaz, dans la détermination du pH d'un éventuel mélange d'origines aqueuses. Sa mesure est nécessaire pour pouvoir déterminer le champ de densité et le courant. En général, la température de l'eau de surface est affectée par la température de l'air, et plus la source d'eau est peu profonde, plus elle est affectée [9].

I.3.1.2 La turbidité

C'est un paramètre, qui varie en fonction des composés colloïdaux (argiles, débris de roche, micro-organismes, ...) ou aux acides humiques (dégradation des végétaux) mais aussi pollutions qui troublent l'eau. Avec un appareil (turbidimètre) on mesure la résistance qu'elle oppose par l'eau au passage de la lumière pour lui donner une valeur [10].

- $NTU < 5 \Rightarrow$ Eau claire
- $NTU < 30 \Rightarrow$ Eau légèrement trouble
- $NTU > 50 \Rightarrow$ Eau trouble.

I.3.1.3 Matière en suspension (MES)

Sont des particules d'origine minérale, organique ou biologique, leur taille s'étend de 0.01 μm , on appelle << colloïdes >> ou << particules colloïdes >>. La détermination des matières en suspension dans l'eau s'effectue par filtration ou par Centrifugation la méthode par centrifugation est surtout réservée aux eaux contenant trop de matière colloïdale pour être filtrées dans de bonnes condition, en particulier si le temps de filtration est supérieur à une heure [11].

$$\text{MES} = b - a = A \text{ (mg/L)}$$

☞ b = poids du verre fritté après séchage

☞ a = poids du verre fritté vide

• le séchage à 105°C pendant 2 heures.

I.3.1.4 Les matières volatiles en suspension (MVS)

Elles sont recueillies soit par filtration, soit par centrifugation, séchées à 105°C, puis Pesées, ce qui fournit la teneur en MES (mg/l). Elles sont ensuite chauffées à 500-600°C, les matières volatiles disparaissent, et la perte de poids est attribuée aux MVS (g ou mg/l) [12].

I.3.1.5 Les matières minérales sèches (MMS)

Elles représentent la différence entre les matières en suspension (MES) et les matières volatiles en suspension (MVS) et correspondent à la présence de sel, et de silice [10].

$$\text{MMS} = (c - a) = \text{mg/L} \text{ Le séchage à } 550^\circ\text{C} \text{ pendant } \frac{1}{2} \text{ heure.}$$

I.3.1.6 Les matières décantables

Les matières en suspension qui se déposent au bout après un certain temps sont appelées matières décantables. Ces matières décantables sont parfois supprimées dans un bassin de pré clarification (boues primaires). Les matières décantables correspondent donc aux matières en suspension qui se déposent au repos pendant une durée fixe de 30 minutes dans un cône Imhof (Exprimée en ml/l). Cette rapide méthode permet d'avoir une idée sur la quantité de solides non dissous présents dans l'échantillon d'eau [13].

I.3.1.7 La conductivité électrique

La conductivité électrique d'une eau est la mesure du courant électrique conduit par les ions présents dans l'eau. Elle dépend de la concentration de la nature des ions, de la température et de la viscosité de la solution. La conductivité s'exprime généralement en $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 20°C , elle est comprise entre 50 et 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour une eau naturelle [11].

Tableau I-1 : Qualité de l'eau en fonction de la conductivité électrique [14].

Conductivité électrique (Exprimé en $\mu\text{S}/\text{cm}$)	Qualité de l'eau
50 à 400	Excellente
400 à 750	De bonne qualité
750 à 1500	Médiocre
>à 1500	Minéralisation excessive

I.3.2 Caractéristique chimique

I.3.2.1 La demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène est la quantité d'oxygène consommée par les matières existantes dans l'eau et oxydable dans des conditions opératoires bien définies [15].

Elle est d'autant plus élevée qu'il y'a des corps oxydables dans le milieu. L'oxygène affecte pratiquement la totalité des matières organiques biodégradables et non biodégradables la DCO est mesuré en $\text{mg d'O}_2/\text{l}$ [16].

- DCO = 1.5 à 2 fois DBO pour les eaux usées urbaines
- DCO = 1 à 10 fois DBO pour l'ensemble des eaux résiduaire
- DCO > 2.5 fois DBO pour les eaux usées industrielles [17].

I.3.2.2 Le PH

C'est une mesure de la concentration d'électrolytes d'hydrogène H^+ dans, et donc elle est très importante car elle est causée par un grand nombre d'équilibres physico-chimiques dans le milieu aqueux, et la valeur PH de l'eau naturelle (eau qui n'est soumise à aucun additif de drainage) dépend de sa source et de la nature géologique de son cours, l'eau naturelle est généralement PH proche de la valeur de 8, Cependant, une partie de l'eau transitant par les roches gratiennes ou à l'intérieur des forêts est acide (PH= 6).

L'eau naturelle forme généralement un milieu vicieux non soumis à des changements rapides de son indice de pH car elle contient De nombreux soldes entre les électrolyses :

- $H_2O \leftrightarrow H^+ + OH^-$
- $H_2CO_3 \leftrightarrow H^+ + HCO_3^-$
- $HCO_3^- \leftrightarrow H^+ + CO_3^{2-}$
- $H_3PO_4 \leftrightarrow H^+ + H_2PO_4^-$
- $H_2PO_4^- \leftrightarrow H^+ + HPO_4^{2-}$
- $H_2S \leftrightarrow H^+ + HS^-$
- $HS^- \leftrightarrow H^+ + S^{2-}$ [18].

I.3.2.3 L'oxygène dissous

L'oxygène dissous dans l'eau est un facteur « essentiel » dans la poursuite de la vie dans la communauté de l'eau. En plus de son rôle dans le processus d'auto-purification du milieu aquatique. Il est dissous dans l'eau à la suite de l'échange entre la phase gazeuse (air) et la phase liquide (eau).

Cet échange est appréhété par plusieurs facteurs : pression de l'air, pression de vapeur, température, pression de vapeur, température et salinité de l'eau. Et compte tenu de l'échec du premier facteur sensiblement. Le deuxième facteur est associé à la température. Les deux derniers travailleurs déterminent la quantité dissoute d'oxygène dans l'eau [18].

I.3.2.4 Le phosphore

Le phosphore et ses composés (composés phosphorés ou matières phosphorées) sont également responsables de l'eutrophisation. Il est introduit dans l'environnement aquatique à partir du drainage des terres agricoles fertilisées (engrais transportés par ruissellement), des rejets industriels et urbains (détergents et produits d'entretien) ou encore de la présence de matières fécales animales et humaines.

En général, le phosphore n'est pas toxique pour l'homme, les animaux ou les poissons et c'est surtout pour ralentir la prolifération des algues dans les milieux aquatiques que la concentration en phosphore doit être limitée.

Dans les eaux naturelles et les eaux usées, le phosphore se trouve principalement sous la forme de phosphates ou PO_4^{3-} (composés phosphatés).

En chimie inorganique, un phosphate est un sel d'acide phosphorique (H_3PO_4) résultant de l'attaque de l'acide par une base. En chimie organique, c'est un composé organophosphoré dérivé de l'acide phosphorique : on parle de phosphate organique.

Trois formes de phosphates existent dans l'environnement : les orthophosphates ou P « réactif » (ortho- PO_4 , généralement la forme la plus présente, sels dérivés de l'acide phosphorique H_3PO_4), les phosphates condensés hydrolysables ou polyphosphates (hydrolyse acide, désigné par P « hydrolysable ») et les phosphates organiques ou organophosphorés (hydrolyse acide avec oxydation, phosphore « organique »). Ils peuvent être dissous (soluble) ou particuliers (solide et/ou colloïdale), associés, par exemple, à des particules en suspension dans l'eau ou à des sédiments.

La mesure des phosphates est très importante pour suivre le bon fonctionnement des STEU. Dans ce type de traitement biologique, l'élimination du P peut se faire soit par voie biologique, soit par précipitation chimique.

Le Rejeté en phosphore total PT dû une personne et De environne $1\text{EH}=4\text{g PT/J}$ [19].

I.3.2.5 Azotées

L'azote peut se trouver dans les eaux de rejets sous forme minérale ou organique à différents niveaux d'oxydation que l'on distingue en trois types de formes : l'azote ammoniacal (forme réduite), l'azote organique (forme réduite) et l'azote minéral (deux formes oxydées).

La somme de ces différentes formes, exprimée en mg L⁻¹, constitue l'azote total (noté NT, N ou NTOT) ou azote global (NGL).

Il existe plusieurs méthodes normalisées de mesures des différentes formes d'azotes : photométrique, colorimétrique, par chromatographie ionique ou par électrode à ion spécifique (Cas des nitrates). Certaines méthodes permettent de suivre en continu les mesures et il existe des dispositifs en ligne.

En pratique, on mesure l'azote par la technique de Kjeldahl (norme NFEN 25663) par potentiomètre après minéralisation ou par distillation qui représente la somme des deux formes réduites (azote ammoniacal + azote organique). On le note parfois azote NTK ou NKT pour azote total Kjeldahl [19].

I.3.2.5.1 Azote et ses dérivés

L'azote se trouve dans l'eau usée sous forme organique ou ammoniacale dissoute. Il est souvent oxydé pour éviter une consommation d'oxygène (O₂) dans la nature et un risque de toxicité par l'ammoniaque gazeux dissous (NH₃), en équilibre avec l'ion ammoniac (NH₄⁺) [20].

I.3.2.5.2 L'azote ammoniacal (NH₄⁺)

L'azote ammoniacal est présent sous deux formes en solution, l'ammoniac NH₃ et l'ammonium NH₄⁺, dont les proportions relatives dépendent du pH et de la température.

L'ammonium est souvent dominant c'est pourquoi, ce terme est employé pour désigner l'azote ammoniacal ; en milieu oxydant, l'ammonium se transforme en nitrites puis en nitrates ce qui induit une consommation d'oxygène [21].

I.3.2.5.3 Les nitrites (NO₂⁻)

Les ions nitrites (NO₂⁻) sont un stade intermédiaire entre l'ammonium (NH₄⁺) et les ions de nitrates (NO₃⁻).

Les bactéries nitrifiantes (nitrosomonas) transforment l'ammonium en nitrites c'est la nitratisation [11].

I.3.2.5.4 Les nitrates (NO₃⁻)

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote organique dans l'eau. Les bactéries nitratâtes (nitrobacters) transforment les nitrites en nitrates [11].

I.3.2.6 Les métaux lourds

Les métaux lourds que l'on trouve dans les eaux usées urbaines sont extrêmement nombreux, les plus abondants (de l'ordre de quelques mg/L) sont le fer, le zinc, le cuivre et le plomb. Les autres métaux (manganèse, aluminium, chrome, arsenic, sélénium, mercure, cadmium, molybdène, nickel, etc.) Sont présents à l'état de traces [22].

I.3.3 Caractéristique biologique

I.3.3.1 Demande biochimique ou biologique en oxygène (DBO)

Elle correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pour décomposer par oxydation et au moyen des bactéries aérobies, les matières organiques des eaux usées. Cette oxydation s'effectue en deux stades :

- Oxydation des composés de carbone, phénomène qui à 20°C, se trouve pratiquement terminer en 20 jours.
- Oxydation des combinaisons comprenant de l'azote, réaction qui ne s'amorce qu'au bout d'une dizaine de jour [17].

I.3.3.2 LA DBO₅

Demande Biologique en Oxygène durant 5 jours : La DBO₅ Demande Biochimique en Oxygène, exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation de la matière organique biodégradable d'une eau par le développement de micro-organismes, dans des conditions données. Les conditions communément utilisées sont 5 jours (on ne peut donc avoir qu'une dégradation partielle) à 20°C, à l'abri de la lumière et de l'air ; on parle alors de la DBO₅[23].

I.3.3.3 Rapport DCO/DBO₅

Le rapport DCO/DBO détermine la possibilité et le rendement de dégradation que l'on peut espérer par un traitement d'oxydation biologique. Si le rapport DCO/DBO est inférieur à 3 on peut dire que l'effluent est facilement biodégradable, un traitement biologique doit être capable d'éliminer l'essentiel de la pollution [24].

- Les mesures se rapprochant de 1 du rapport DCO / DBO₅ une très bonne biodégradabilité (lait, yaourt).
- De 1,5 à 2 : Effluents d'industries agroalimentaires (meilleure biodégradabilité)
- De 2 à 3 : Effluents urbaines domestiques.
- >3 à 4 : Effluents plus ou moins difficilement biodégradable (industrie).

La relation empirique de la matière oxydable en fonction de la DBO₅ et la DCO est donnée par l'équation suivante : $MO = (2DBO_5 + DCO) / 3$

I.3.3.4 La biodégradabilité

La biodégradabilité traduit l'aptitude d'un effluent à être décomposé ou oxydé par les microorganismes qui interviennent dans les processus d'épuration biologique des eaux.

Elle est exprimée par un coefficient K avec $K = DCO / DBO_5$:

- Si $1.5 < K < 2.5$, cela signifie que les matières oxydables sont moyennement biodégradables.
- Si $2.5 < K < 3$, les matières oxydables sont peu biodégradables.
- Si $K < 1.5$, cela signifie que les matières oxydables sont constituées en grande partie de matières fortement biodégradables ;
- Si $k > 3$, les matières oxydables sont non biodégradables.

Un coefficient K très élevé traduit la présence dans l'eau d'éléments inhibiteur de la croissance bactérienne, tels que : les sels métalliques, les détergents, les phénols, les hydrocarbures... etc.

La valeur du coefficient K détermine le choix de la filière de traitement à adopter, si l'effluent est biodégradable on applique un traitement biologique, si non on applique un traitement physicochimique [25].

I.3.3.5 Les virus

Ce sont des organismes infectieux de très petite taille (10 à 350 nm) qui se reproduisent en infectant un organisme hôte. Les virus ne sont pas naturellement présents dans l'intestin, contrairement aux bactéries (**Tableau 02**). Ils sont présents soit intentionnellement (après une vaccination contre la poliomyélite, par exemple), soit chez un individu infecté accidentellement.

L'infection se produit par l'ingestion dans la majorité des cas, sauf pour le Coronavirus où elle peut aussi avoir lieu par inhalation [26].

On estime leur concentration dans les eaux usées urbaines comprise entre 10^3 et 10^4 particules par litre. Leur isolement et leur dénombrement dans les eaux usées sont difficiles, ce qui conduit vraisemblablement à une sous-estimation de leur nombre réel.

Les virus entériques sont ceux qui se multiplient dans le trajet intestinal ; parmi les virus entériques humains les plus importants, il faut citer les entérovirus (exemple : polio), les rota virus, les rétrovirus, les adénovirus et le virus de l'Hépatite A [27].

I.3.3.6 Les bactéries

Les bactéries sont des organismes unicellulaires simples et sans noyau (**Tableau I-2**). Leur taille est comprise entre 0,1 et 10 μm [27].

Les eaux usées urbaines contiennent environ 10⁶ à 10⁷ bactéries/100 ml dont 10⁵ Proteus et entérobactéries, 10³ à 10⁴ streptocoques et 10² à 10³ clostridiiums. Parmi les plus communément rencontrées, on trouve les salmonelles dont on connaît plusieurs centaines de stéréotypes différents, dont ceux responsables de la typhoïde, des paratyphoïdes et des troubles intestinaux. Des germes témoins de contamination fécale sont communément utilisés pour contrôler la qualité relative d'une eau ce sont les coliformes thermotolérants [29].

Tableau I-2 : Les bactéries pathogènes dans les eaux usées [28].

Agent pathogène	Symptômes maladie	Nombre pour un litre d'eau usée	Voies de contamination principales
Salmonella	Typhoïde, paratyphoïde, salmonellose	23 à 80000	Ingestion
Shigella	Dysenterie	10 à 10000	Ingestion
E. Coli	Gastro-entérite	-	Ingestion
Yersinia	Gastro-entérite	-	Ingestion
Campylobacter	Gastro-entérite	37000	Ingestion
Vibrio	Choléra	100 à 100000	Ingestion
Leptospira	Leptospirose	-	Cutanée /Inhalation/Ingestion
Legionella	Légionellose	-	Ingestion

Mycobacterium	Tuberculose	-	Ingestion
----------------------	-------------	---	-----------

I.4 Différents polluants de la pollution de l'eau

I.4.1 Les polluants physiques

La pollution physique est due essentiellement aux substances en suspension (matières solides) Bien que sa forme commune est la pollution thermique [31].

Elle peut englober également plusieurs autres aspects : couleur, transparence, pH dont on peut citer :

- Les matières en suspension désignent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau et la troublent. Les déchets solides divers (objets d'origines variés) posent des problèmes d'esthétiques.
- Les matières colorantes modifiant la transparence du milieu.
- La pollution thermique due au rejet des eaux utilisées pour le refroidissement des installations industrielles diverses.
- Les acides et les alcalins déchargés par l'industrie chimique et d'autres installations industrielles [32].
- Les risques nucléaires résultent des accidents divers ou des rejets des centrales nucléaires, ou dans le pire des cas, à partir d'une explosion nucléaire. Ces polluants sont notamment une série d'éléments et des composés radioactifs y compris les éléments dérivés de l'uranium, le plutonium, le césium, et l'iode [33].

I.4.2 Les polluants chimiques

Les industries chimiques continuent à synthétiser des milliers des substances chaque année. Plusieurs de ces produits sont spécifiquement conçus pour être toxiques et persistants [34].

Cependant, les contaminants les plus nuisibles à la santé sont les produits chimiques d'origines naturelles qui se trouvent habituellement dans les eaux souterraines [35].

I.4.2.1 Pollution par les métaux lourds

Parmi les métaux lourds dangereux pour la santé, il faut citer le plomb, le mercure, le cadmium, l'arsenic, le cuivre, le zinc et le chrome. Ces métaux se trouvent à l'état naturel dans le sol, sous forme de traces qui posent peu de problèmes. Cependant, quand ils sont concentrés dans des aires particulières, ils posent un grave danger. L'arsenic Et le cadmium, par exemple, Peuvent causer le cancer. Le mercure peut provoquer des mutations et des dégâts génétiques, tandis que le cuivre, le plomb et le mercure peuvent causer des lésions aux os [36].

I.4.2.2. Les sels minéraux

Dans beaucoup de procédé de production ainsi que lors de l'élaboration des matières, il se forme parfois des sels en grandes quantités, avant tout des chlorures, des nitrates, des sulfates et des phosphates, qui ont une grande importance vis-à-vis l'environnement [37].

I.4.2.3 Les nitrates

Les nitrates sont présents naturellement dans les eaux, les apports excessifs ou mal maîtrisés d'engrais azotés provoquent une augmentation des nitrates dans la ressource. Les nitrates se transforment en nitrite dans l'estomac. Ces nitrites peuvent provoquer la transformation de l'hémoglobine du sang en méthémoglobine, impropre à fixer l'oxygène. Ce phénomène est à l'origine de cyanoses, notamment chez les nourrissons. La consommation d'eau chargée en nitrates ou nitrites par la femme enceinte ou le nourrisson peut constituer un risque pour le nouveau-né [38].

I.4.2.4 Les sulfates

En plus des inconvénients qui caractérisent les chlorures, les sulfates participent aux métabolismes des bactéries contenues dans l'eau, les bactéries contenues dans l'eau, les bactéries sulfato-réductrice transforment les sulfates en sulfures avec dégagement de gaz sulfureux (œufs pourris) créant des désagréments à l'environnement [39].

I.4.2.5 Phosphates

Les ions phosphates contenus dans les eaux de surface ou dans les nappes peuvent être d'origine naturelle : décomposition de la matière organique, lessivage des minéraux, ou due aussi aux rejets industriels (agroalimentaire...etc.), domestiques (poly-phosphate des détergents), engrais (pesticides...etc.) [40].

Des teneurs supérieures à 0,5 mg/l doivent constituer un indice de pollution [40].

- Les hydrocarbures aromatiques a faible poids moléculaires... a des concentrations moins de 30 µg/l [41].
- Les produits utilisés dans le traitement des eaux potables destinés à éliminer les microorganismes, augmenteront dans de nombreux cas les contaminants chimiques. Néanmoins, le processus peut en lui-même conduire à la formation d'autres contaminants tels que les trihalométhanes et les acides halo-acétiques provient de la réaction chimique des oxydants naturels avec les matières organiques. Le traitement des eaux, cependant, peut prendre de nombreuses formes et peut utiliser différents produits chimiques y compris : le chlore, les chloramines, le dioxyde de chlore et l'ozone [41].

- Le PCB (bipheylespolychlores), autre fois largement utilisé comme lubrifiant et liquide de refroidissement [34].

I.4.3 Les polluants biologiques

Les humains sont les plus importants pollueurs biologiques de la planète, les contaminants fécaux sont parmi les polluants biologiques des sources d'eau potable par conséquent l'homme et les animaux domestiques sont souvent contaminés par des microbes Pathogènes [42].

Les bactéries présentes dans la matière organique peuvent avoir des effets néfastes sur la santé humaine et animale [43] telles que les streptocoques [44].

En outre la pollution virale de la biosphère peut aussi avoir des effets dévastateurs et selon les estimations, il y en a dix fois plus de virus sur la Terre que l'ensemble des cellules vivantes [42].

I.5 Les effets de la pollution de l'eau

I.5.1 Les effets écologiques

Les conséquences écologiques de la pollution des ressources en eau se traduisent par la dégradation des écosystèmes aquatiques. Les désordres engendrés sont :

- Tout d'abord, l'eau a comme propriétés de dissoudre la plupart des substances minérales ou organiques et de mettre en suspension les matières insolubles. En conséquence, tout polluant de l'eau peut se retrouver très loin en aval du lieu de contamination.
- Par ailleurs, les gaz sont peu solubles dans l'eau. Les milieux aquatiques sont donc naturellement pauvres en oxygène dissous, élément indispensable à la respiration de la faune aquatique. Or, la dégradation (l'élimination), par le milieu, des pollutions organiques est fortement consommatrice d'oxygène : plus la pollution organique est forte, plus le milieu concerné s'appauvrit en oxygène. Ce phénomène peut aller jusqu'à l'anoxie de l'eau (absence d'oxygène), avec des conséquences très graves pour la faune.
- La relative pauvreté naturelle en oxygène dissous des milieux aquatiques amène les animaux à absorber de très grandes quantités d'eau pour satisfaire leurs besoins en oxygène. Ils risquent donc, beaucoup plus que les animaux terrestres, d'ingérer de grandes quantités de toxiques, même lorsque ceux-ci ne se trouvent qu'en très faibles quantités dans le milieu.
- Enfin, les variations naturelles de température des milieux aquatiques sont d'une amplitude beaucoup plus faible que celle des milieux terrestres. Les organismes aquatiques sont donc nettement plus sensibles aux changements de température même faibles. De ce fait, ils sont particulièrement exposés lorsqu'ils sont soumis à une "pollution thermique" (rejet d'eaux chaudes dans le milieu) [45].

I.5.2 Effets de la pollution de l'eau sur la santé humaine

La pollution de l'eau est un grave problème environnemental qui a un impact sur la santé et le bien-être des populations partout dans le monde. Il peut provenir de diverses sources, telles que le ruissellement agricole, les rejets industriels et les eaux usées. Voici les dix effets de la pollution de l'eau sur la santé humaine [46].

I.5.2.1 Eau potable contaminée

La consommation d'eau potable contaminée peut entraîner divers problèmes de santé, tels qu'infections gastro-intestinales, typhoïde fièvre, choléra, et la dysenterie.

I.5.2.2 Exposition aux toxines

L'exposition à des produits chimiques toxiques, tels que le plomb, le mercure et les pesticides, peut entraîner de graves problèmes de santé, notamment des lésions neurologiques, des handicaps congénitaux et Cancer.

I.5.2.3 Problèmes respiratoires

Des conditions respiratoires comme asthme et bronchite peuvent être déclenché par l'inhalation de contaminants en suspension dans l'air provenant d'eau polluée.

I.5.2.4 Problèmes cardiovasculaires

L'eau contaminée peut contenir des métaux lourds qui peuvent causer problèmes cardiovasculaires, comme les maladies cardiaques et accident vasculaire cérébral.

I.5.2.5 Cancer

L'exposition à certains produits chimiques et polluants présents dans l'eau contaminée a été associée à un risque accru de cancer, y compris leucémie et lymphome [46].

I.6 Méthode de traitement eaux usée

- Méthode biologique
- Méthode physique
- Méthode chimique.

I.6.1 Méthode biologique

Le traitement biologique est un traitement purement biologique des eaux usées et a pour objet de réduire la teneur en matière organique présentes dans ces eaux et leur dégradation biologique par les micro-organismes. Parmi les divers micro-organismes responsables de la dégradation on trouve les bactéries aérobies et les bactéries anaérobies [47].

I.6.1.1 Traitements anaérobies

Le traitement anaérobie utilise des bactéries qui n'utilisent pas d'oxygène, Les méthanogènes en particulier, comme leur nom l'indique, Le méthane est produit à partir de matière organique et une petite quantité de CO₂ est produite. Ce système est davantage utilisé pour traiter les eaux usées municipales que Traitement des eaux usées industrielles, généralement toxiques pour les bactéries.

I.6.1.2 Traitement aérobie

Les micro-organismes utilisés nécessitent un apport permanent d'oxygène et appartiennent à deux grandes familles Nous pouvons distinguer Processus de culture fixes (micro-organismes fixes milieu), méthode de culture libre (micro-organismes maintenus en suspension laver le mélange).

I.6.2 Méthodes chimiques

Les techniques d'oxydation chimiques sont généralement appliquées pour :

- Le traitement des composés organiques dangereux présents en faibles concentrations.
- En prétraitement avant les procédés biologiques pour diminuer la charge polluante.
- Traitement d'eaux usées chargées de constituants résistants aux méthodes de biodégradation.
- En post-traitement pour réduire la toxicité aquatique [48].

Les deux réactifs les plus souvent cités pour ce type de traitement sont H₂O₂ et le Chlore. Le peroxyde d'hydrogène est un oxydant fort et son application pour le traitement des polluants organiques et inorganiques est bien établie [49]. Mais l'oxydation seule par H₂O₂ n'est pas suffisamment efficace pour des fortes concentrations en colorant [50]. Ont proposé de traiter les colorants azoïques par hypochlorurie de sodium. Cependant, si la molécule initiale est détruite, les halogènes sont susceptibles de former des trihalométhanes comme sous-produits de dégradation, lesquels sont cancérigènes pour l'homme [51].

Tableau I-3 : Procédé de traitement des effluents industriels [52].

Procédé	Technique
Procédé physico-chimique	Coagulation-floculation Electrocoagulation
Procédé biologique	Traitement anaérobie Traitement aérobie
Procédé chimique	Hydrogénation catalytique Technique d'oxydations avancées
Procédé physique	Adsorption Techniques membranaires

I.6.3 Méthodes physiques

I.6.3.1 Technique membranaire

Dans ce procédé, les polluants sont retenus par une membrane semi perméable dont le diamètre des pores est inférieur à celui des molécules à éliminer. Cette technique est largement utilisée dans le dessalement de l'eau de mer. Selon la qualité de l'eau désirée, on distingue la microfiltration, l'ultrafiltration ou la nano filtration ou encore l'osmose inverse. Actuellement, des recherches sont menées dont le but de mettre en œuvre des membranes nouvelles à prix abordable. En effet, ces procédés restent très limités dans leurs applications car ils nécessitent des investissements importants à cause du prix des matériaux utilisés [53].

I.6.3.2 Méthode physico-chimique : Coagulation – Floculation

Sous le terme de Coagulation Floculation, on entend tous les processus physico-chimiques par lesquels des particules colloïdales ou des solides en fine suspension sont transformés par des flocculant chimiques en espèces plus visibles et séparables (les flocs). Les coagulants inorganiques tels que l'alun donnent les résultats les plus satisfaisants pour la décoloration des effluents textiles contenant des colorants dispersés, de cuve et soufrés, mais sont totalement inefficaces pour les colorants réactifs, azoïques, acides et basiques [54 -55].

I.6.3.3 Adsorption sur charbon actif et autres matériaux

L'adsorption est un procédé d'élimination des polluants organiques ou minéraux présents dans des effluents aussi bien liquide que gazeux. Plusieurs modèles théoriques ont été élaborés pour décrire les mécanismes de ces phénomènes. Le polluant est transféré de la phase fluide vers la surface du solide. Même avec le charbon actif qui est considéré comme l'adsorbant le plus efficace, ce mode de traitement reste très limité pour l'élimination de tous les colorants. Seuls les colorants cationiques, colorant à mordant, dispersés ou dits de cuve et réactifs sont éliminés par cette technique [56].

I.7 Définition adsorption

L'adsorption est une interaction entre une molécule adsorbable (adsorbat) et la surface d'un solide (le catalyseur hétérogène). Elle est due à des phénomènes de diffusion et à des interactions entre la surface de l'adsorbant et les molécules adsorbables. Elle est donc favorisée sur des matériaux ayant d'importantes surfaces spécifiques [57].

I.7.1 Les différents types d'adsorption

Il existe deux modes d'adsorption :

I.7.1.1 Adsorption physique

L'adsorption physique est une interaction physique. Les liaisons molécule surface sont de faibles énergies, en général, comprises entre 0 et 40 KJ/mol. Les éléments chimiques sont liés à la surface du solide par la formation des liaisons de type Vander Waals. Ce processus est instantané et ne nécessite pas le franchissement d'une barrière énergétique [57].

I.7.1.2 Adsorption chimique

L'adsorption chimique est une interaction chimique. Les énergies de liaison mises en jeu sont de l'ordre de 40 kJ/mole et plus. C'est un phénomène qui, par sa spécificité, son énergie d'activation et sa chaleur dégagée, s'apparente à une réaction chimique entre une molécule en solution et la surface d'un support. Il y a formation des liaisons de type covalentes (ou liaisons fortes) entre l'adsorbat et certains sites spécifiques de la surface. Ce phénomène est plus lent que la physisorption et nécessite une énergie d'activation. Les phénomènes d'adsorption induisent une orientation de la molécule adsorbée à la surface du catalyseur [57].

Le tableau I-4 : les principales différences qui existent entre l'adsorption physique et chimique sont illustrées.

Propriétés	Physisorption	Chimisorption
Liaison	Forces de van der Waals	Chimique
Vitesse du processus	Généralement rapide	Appréciable
Nature de la chaleur d'adsorption	Exothermique	Exothermique et endothermique
Existence d'énergie d'activation	Rarement	Oui
Existence de transfert d'électrons	Absence de transfert des électrons avec production d'une polarisation de l'adsorbat	Présence d'un transfert d'électrons, formation de liaisons entre adsorbat et adsorbant
Température du processus	Relativement basse	Elevée
Chaleur d'adsorption	1 a 10 k calsmoL ⁻¹	10 a 25k cal mol ⁻¹ k ⁻¹
Processus de désorption	Facile	Difficile
Cinétique	Rapide	Lente
Nature de la couche	Formation de mono ou multicouches	Formation d'une monocouche seulement
Réversibilité	Réversible	Irréversible

I.7.2 Les adsorbants

Généralement, les adsorbants permettent de réaliser la séparation des composants d'un mélange en retenant plus ou moins, ceux-ci, par le biais de liaisons dont l'intensité varie selon la nature des molécules présentes dans le mélange. Au sens strict, tous les solides sont des adsorbants.

Cependant, seuls les adsorbants ayant une surface spécifique suffisante (surface par unité de masse) peuvent avoir des intérêts pratiques. Les adsorbants industriels ont généralement des surfaces spécifiques au-delà de $100 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$. Ces adsorbants sont nécessairement microporeux avec des tailles de pores inférieures à 2 nm ou Méso poreux avec des tailles de pores comprises entre 2 nm et 50 nm (selon la classification de l'IUPAC) [58].

I.7.2.1 Principaux types d'adsorbants

Les adsorbants industriels les plus courants sont les suivants : les charbons actifs, les zéolithes, les gels de silice, les argiles activées (ou terres décolorantes) et les alumines activées [59-60]. Il s'agit d'adsorbants physiques. Des adsorbants chimiques suscitent de plus en plus d'intérêt [60].

I.7.2.1.1 La bentonite

La bentonite est une argile naturelle constituée essentiellement de la montmorillonite. Elle est soit sodique soit calcique. Elle se caractérise par une capacité élevée d'adsorption, d'échange ionique et de gonflement [61-62] La région nord orientale du Maroc se distingue par la présence de vastes gisements de bentonite [63].

I.7.2.1.2 Le charbon actif

Les charbons actifs sont de loin les adsorbants les plus fabriqués et utilisés industriellement. Ils peuvent être obtenus à partir d'un grand nombre de matériaux carbonés (bois, charbon, noix de coco, résidus pétroliers, margine, etc.), par des processus de carbonisation suivis des processus d'activation dûment contrôlés. Les charbons actifs sont composés de micro cristallites élémentaires de graphite qui sont assemblées avec une orientation aléatoire [59].

Le charbon actif est utilisé dans plusieurs domaines, comme la purification de l'eau, le traitement des eaux usées, la médecine ...etc. Nous le retrouvons le plus souvent en traitement d'affinage d'eau potable ou d'eau industrielle de haute pureté, dans ce cas le charbon actif fixe les micropolluants organiques (souvent à l'origine de goûts et des saveurs désagréables) présents dans l'eau [64].

I.7.2.1.2.1 La porosité des charbons actifs

La porosité est l'une des propriétés essentielles des CA. Dans la structure du CA, les atomes de carbone sont organisés pour former des feuillets constitués de plusieurs cycles aromatiques, enchevêtrés les uns dans les autres et délimitant des interstices de tailles variables appelés pores' industrie pétrolière [61-62].

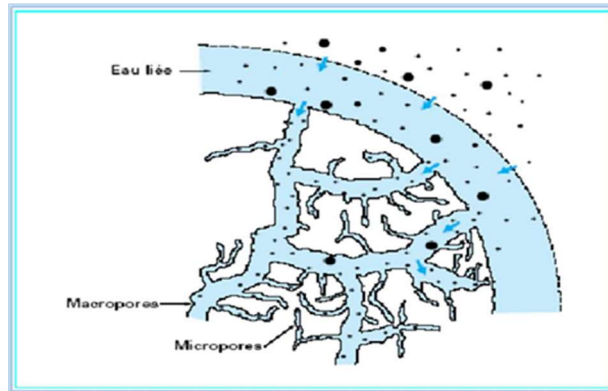


Figure (I-1) : Représentation schématique de la structure du CA en deux dimensions [66].

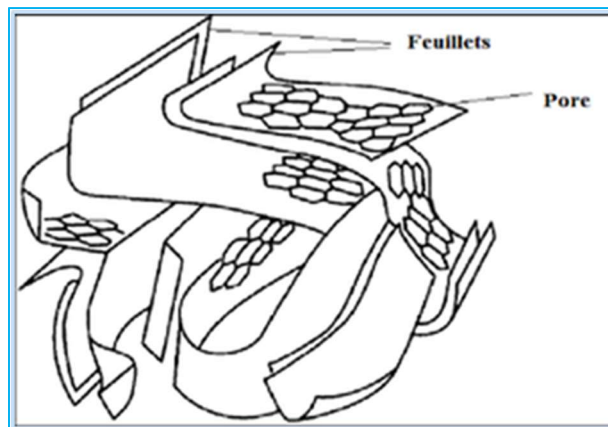


Figure (I-2) : Représentation schématique de la structure du CA en- (a) trois dimensions [65].

D'après la nomenclature de l'IUPAC, les pores sur les CA sont classés en trois catégories : Les micropores de diamètres inférieurs à 2 nm ; - Les méso pores de diamètres compris entre 2 et 50 nm. Les macropores de diamètres supérieurs à 50 nm [67].

I.7.3 Mécanisme d'adsorption

Le mécanisme d'adsorption est d'intérêt évident compte tenu de l'utilisation de ce procédé dans le traitement des eaux à potabilité et des eaux usées.

Au cours de l'adsorption d'une espèce sur un solide, le transfert de masse des molécules se fait de la phase fluide vers le centre de l'adsorbant. Ce processus (**figure 03**) [68-69].

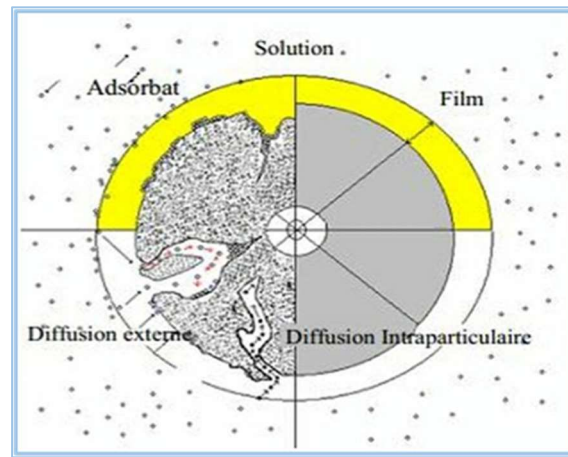


Figure (I-3) : Mécanisme d'adsorption.

I.8 Définition photocatalyse

La photocatalyse est une technologie d'oxydation avancée émergente qui trouve de nombreux domaines d'application. Elle a été découverte avant les années quatre-vingt. Les travaux de Honda-Fujishima apparus en 1980 sur la décomposition photocatalytique de l'eau sur une électrode à base de dioxyde de titane (TiO_2) ont en propulsé l'essor [70].

La photocatalyse a très vite été étudiée pour la dégradation des polluants organiques (les acides carboxyliques, les composés aromatique, les composés chlorés et soufres, les pesticides et les colorants) et inorganique (les métaux, les nitrites et les cyanures) dans les conditions de température ambiante [71].

La photocatalyse peut être considérée comme une réaction d'oxydo-réduction faisant appel à un transfert d'électron induit par activation d'un semi-conducteur par la lumière.

I.8.1 Principe de la photocatalyse

La photocatalyse fait appel à l'absorption de lumière par un semi-conducteur (Sc), permettant, ainsi, l'excitation d'un électron (e^-) de valence et son passage de la bande de valence (BV) à la bande de conduction (BC). Cette transition crée une lacune électronique appelée trou (hole) (h^+) au niveau de la bande de valence et la création d'une paire électronique (e^-/h^+) au niveau de la bande de conduction [70,72] La photocatalyse se caractérise par la réaction suivante :

Le radical OH ayant un caractère électrophile, les composés substitués par des groupements donneurs d'électrons réagissent plus rapidement et conduisent principalement à la formation de composés hydroxylés [76].

I.8.3 Mécanisme d'oxydation par le radical hydroxyle

Les réactions du radical HO• avec les composés organiques se font selon trois mécanismes principaux et mènent principalement à la formation de radicaux cargo-centrés [77-78].

•Par arrachement d'un atome d'hydrogène des liaisons C-H, N-H ou O-H :



•Par addition électrophile sur des liaisons π ou des cycles aromatiques :



•Par transfert d'électron, cas dans lequel HO• est l'accepteur d'électron :



Dans le cas des anions organiques comme les carboxylates, cette réaction conduit à la formation du radical RCOO• qui subit une décarboxylation :



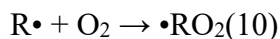
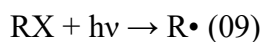
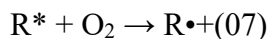
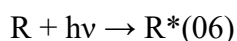
I.8.4 Type de photocatalyse

Deux types de la dégradation photolytique des composés organiques dans l'environnement sont envisagés :

- Photodégradation direct
- Photodégradation indirect

I.8.4.1 Photodégradation directe

La Photodégradation directe implique l'absorption des radiations UV par la molécule à détruire, qui passe ainsi par un état excité favorisant sa dégradation. La présence d'au moins un groupement chromophore est nécessaire. Dans ce cas, la transformation du composé chimique est une conséquence directe de l'absorption d'un photon. Le mécanisme de la dégradation se fait selon les étapes suivantes [79].



Les réactions de (6) à (11) sont initiées par l'absorption de la lumière. Les molécules absorbant l'énergie sont soit activées (R^*) (réaction (6)), soit dissociées (réaction 9). Le mécanisme induit dépend du type de substrat étudié.

En présence d' O_2 , la molécule excitée va produire selon sa nature un radical $\cdot R$ (réaction 7) ou $\cdot RO_2$ (réaction 10). Ce sont des espèces radicalaires qui se dissocient pour conduire aux photo-produits (réactions 8 et 11) qui peuvent être partiellement minéralisés par des réactions d'oxydation.

I.8.4.2 Photodégradation indirecte

La Photodégradation indirecte est la dégradation influencée par la présence de certains composés qui existent généralement dans la nature appelé photo-sensibilisateurs ou espèces réactives. Ils absorbent eux-mêmes la lumière et transmettent ensuite l'excédent de leur énergie à la molécule polluante. Deux types de Photodégradation indirecte peuvent être envisagés [76].

- Photocatalyse homogène
- Photocatalyse hétérogène.

I.8.4.2.1 Photocatalyse homogène

La dégradation naturelle des polluants organiques dans l'environnement par photolyse est un processus très lent. Ainsi, l'utilisation des rayonnements UV et des espèces actives photo-induites est capable de générer des réactions de dégradation oxydantes efficaces et rapides. Ces méthodes sont appelées « procédés d'oxydation avancés (POA) ». En phase homogène, ces procédés utilisent des précurseurs de radicaux H_2O/UV , $H_2O_2-Fe^{2+}/UV$, O_3/UV . Dans certains cas des polluants organiques résistants, la combinaison des oxydants $H_2O_2/O_3/UV$ catalysés par un oxyde métallique est souhaitable pour accélérer la réaction photocatalytique. Ce qui favorise l'activité des oxydants électrophiles vis-à-vis de certains composés organiques et par conséquent produire d'avantage des radicaux hydroxyles $OH\cdot$.

La production des radicaux hydroxyles est affectée par les conditions du milieu réactionnel telles que la température, le pH, la concentration en oxydant et la présence de consommateurs de

radicaux. Par conséquent, la réaction globale d'oxydation est le résultat d'un effet synergique dû à l'ensemble des réactions : ozonation, photo décomposition directe et décomposition radicalaire.

Ce dernier aspect est d'autant plus prononcé que la concentration de H_2O_2 est grande, mais ce procédé reste aussi limité par la faible solubilité d' O_3 et de sa réactivité lente en présence de H_2O_2 .

L'ensemble des études réalisées sur la Photodégradation montre que l'efficacité du traitement dépend de plusieurs paramètres notamment la concentration de l'oxydant et l'intensité lumineuse $h\nu$. A titre d'exemple, cette technique a été largement utilisée dans le cas de l'élimination des pesticides et des colorants des eaux usées, mais peu employée dans le cas des médicaments [80].

I.8.4.2 Photocatalyse hétérogène

La photocatalyse hétérogène est un processus catalytique qui repose sur l'excitation d'un semi-conducteur par un rayonnement lumineux conduisant à l'accélération de la photoréaction en faisant intervenir des réactions entre les paires électron/trou et les produits organiques adsorbés à la surface du semi-conducteur [81].

Le processus de la photocatalyse hétérogène peut se décomposer en 5 étapes indépendantes Comme tout procédé de catalyse hétérogène [82].

1. Transfert du ou des réactifs de la phase fluide vers la surface du catalyseur
2. Adsorption d'au moins d'un réactif
3. Réactions en phase adsorbée
4. Désorption des produits intermédiaires et/ou finals
5. Transfert de ces produits de la région de surface dans la phase fluide

Plusieurs semi-conducteurs ont été testés dans la photocatalyse comme TiO_2 , ZnO , ZnS , WO_3 , GaP , Fe_2O_3 et CdS . Les semi-conducteurs CdS et GaP ont l'avantage d'absorber par rapport à TiO_2 une fraction plus importante du spectre solaire, mais malheureusement ces semi-conducteurs sont instables durant l'oxydation photocatalytique [83].

I.8.4.2.2.1 L'oxyde de zinc

L'oxyde de zinc de formule chimique est un composé ionique à caractère covalent .il cristallise suivant trois structures différentes qui sont : l'hexagonale quartzite de paramètre de maille $a=3.249\text{Å}$ et $c=5,02205\text{Å}$ [84] le cubique zinc blende et la cubique rocksalt (structure de NaCl). Mais à la température ambiante, la structure hexagonale quartzite est la plus stable [85], Il est utilisé comme transistor à couche mine ; comme varistance et dans l'électronique des semi-conducteurs [86].

➤ Propriétés physiques

L'oxyde de zinc est un semi-conducteur de largeur de bande 3,2 eV. Il n'absorbe donc pas la lumière visible, ce qui explique sa couleur blanche. Néanmoins, des lacunes d'oxygène peuvent se former dans ce matériau, surtout à haute température, ce qui explique que l'oxyde de zinc vire au jaune lorsqu'il est chauffé. Cet effet est appelé thermo-chromée [87].

➤ Propriétés chimiques

L'oxyde de zinc est insoluble dans l'eau. Néanmoins, il s'agit d'un oxyde amphotère qui est soluble dans les solutions acides (sous forme Zn^{2+}) et basiques (sous forme $\text{Zn}(\text{OH})^-$) L'oxyde de zinc se réduit par ailleurs en zinc gazeux et en dioxygène sous pression ambiante en dioxygène à une température de 1975°C [87].

➤ Propriétés électriques

Le tableau ci-dessous expose quelques propriétés électriques du photocatalyseur ZnO [87].

Tableau I-5 : Propriétés électriques du ZnO.

Propriétés électriques	Grandeur
Energie de cohésion de la liaison ZnO (ev)	-5,658
Point de fusion a 1,06 Bars ($^\circ\text{C}$).	1975
E_g (ev) a 27°C	3,1-3,2
Liaison ZnO (Å°)	2,016
Liaison O-O (Å°)	5,304
Chaleur spécifique (w.m-1. K-1) a 20°C	37

I.9 Cadre réglementaire**I.9.1 Normes Algériennes****Tableau I-6 : Normes Algériennes**

Paramètre	Unité	Normes
Température	C°	30
PH	-	6.5<PH<8.5
MES	mg/l	35
Azote Kjeldahl	mg/l	30
Phosphore total	mg/l	10
DCO	mg/l	120
DBO₅	mg/l	35
Huiles et graisses	mg/l	20

I.9.2 Normes Internationales

Paramètre	Unité	Normes OMS
PH	-	6.5-8.5
DCO	mg/l	<90
DBO ₅	mg/l	<30
MES	mg/l	<20
NH ₄ ⁺	mg/l	<0.5
NO ₂	mg/l	1
NO ₃	mg/l	<1
P ₂ O ₅	mg/l	<2
Température	C°	<30
Couleur	-	Incolore
Odeur	-	Inodore

Tableau I-7 : Normes Internationales OMS des rejets liquide

Chapitre II

Matériels et méthodes

II.1 Matériels et produits utilisé

Tableau II-1 : matériel et produits utilisé

Matériel utilisé	Matériel de sécurité	Les produits utilisés
Bécher	Sarrau	L'eau robinet
Balance	Les gants de protection	L'eau distillée
Verre de montre	Hotte	Acide phosphorique H_3PO_4
Mortier et pilon	Mitaines isolantes	Hydroxyde de potassium KOH
Entonnoir	Lunettes de sécurité	Noyaux d'olive
Pipette graduée	-	Acétate de zinc $ZnC_4H_6O_4$
Papier filtre	-	Nitrate d'argent $AgNO_3$
Tamis	-	Ethanol amine
Support universel	-	Eau oxygène H_2O_2 20v
Erlenmeyer	-	-
Eprouvette graduée	-	-
Fiole jaugée	-	-
Plaque chauffante	-	-
Agitateur magnétique	-	-
PH –mètre	-	-
Les creusets	-	-

Etuve	-	-
Four	-	-

II.2 Définition générale de la STEP :

Définition d'une station d'épuration STEP C'est une installation destinée à épurer les eaux usées domestiques ou industrielles et les eaux pluviales avant le rejet dans le milieu naturel. Le but du traitement est de séparer l'eau des substances indésirables pour le milieu récepteur. Une station d'épuration est généralement installée à l'extrémité d'un réseau de collecte. Elle peut utiliser plusieurs principes, physiques et biologiques. Le plus souvent, le processus est biologique car il fait intervenir des bactéries capables de dégrader les matières organiques. La taille et le type des dispositifs dépendent du degré de pollution des eaux à traiter. Une station d'épuration est constituée d'une succession de dispositifs, conçus pour extraire en différentes étapes les différents polluants contenus dans les eaux. La pollution retenue dans la station d'épuration est transformée sous forme de boues [88].

II.3 Objectifs principaux d'une station d'épuration

- Protection de la nappe phréatique contre la pollution
- Eviter aux agriculteurs l'irrigation des terres agricoles avec les eaux usées
- Minimiser le risque des maladies à transmission hydrique
- Réutilisation des eaux épurées dans le domaine de l'irrigation
- Économie importante de l'eau
- Eviter la surexploitation des nappes souterraines [89].

II.4. Situation géographique de la zone d'étude

La ville de M'sila est située au Nord Est de la Wilaya de M'sila et à une distance d'environ 248Km au Sud Est de la capitale d'Alger aux coordonnées géométriques suivantes : 35°45N et 4°35'E.

Elle est limitée : au nord par la wilaya de Bordj Bou Arreridj Commune d'(Elaach), au sud par la commune Ouled Madhi, à l'Ouest ; par la commune de Ouled Mansour et à l'Est par les communes de Metarfa.

La station d'épuration (STEP) de la ville de M'sila est située au sud à environ 9Km du centre de la ville de M'sila et sur la rive droite d'Oued M'sila. Elle s'étend sur une superficie de 4,16ha aux coordonnées géométriques suivantes :35°40N et 4°30N.

II.5 Description générale de la Station d'épuration

Le tableau ci- dessous, présente la Fiche technique de la STEP du M'sila.

Tableau II-2 : fiche technique de la station d'épuration

Ville	M'sila
Nom	Station d'épuration de m'sila
Date de mise en service	Avril-2013
Procédé d'épuration	Boue activée à faible charge
Capacité actuelle et à l'horizon en (EQ/Hab)	200,000 au 300,000
Volume nominal actuelle et à l'horizon en (m³/J)	3200 au futur 48000
Communes raccordées à la STEP	M'sila
Impacts	Elimination des rejets et lutte contre les MTH
Devenir des boues (décharge/aire de stockage/agriculture)	Aire de stockage

II.6 Préparation du charbon actif

Pour la préparation du charbon actif nous avons retenus un Activation physico-chimique en se basant des données bibliographiques.

Pour commencer ces noyaux d'olive sont lavés plusieurs fois à l'eau Robinet courante afin d'éliminer les impuretés et les poussières adhérentes, ainsi que les substances hydrosolubles jusqu'à l'obtention d'une eau de lavage assez transparente, sont séchés , après on broyons le noyaux d'olive avec lavage plusieurs fois par l'eau robinet, puis rincés à l'eau distillée et après mis en contact avec eau oxygénée plus l'eau distillée pendant 24 heures pour éliminer les huiles résiduelles , préalablement séchés .

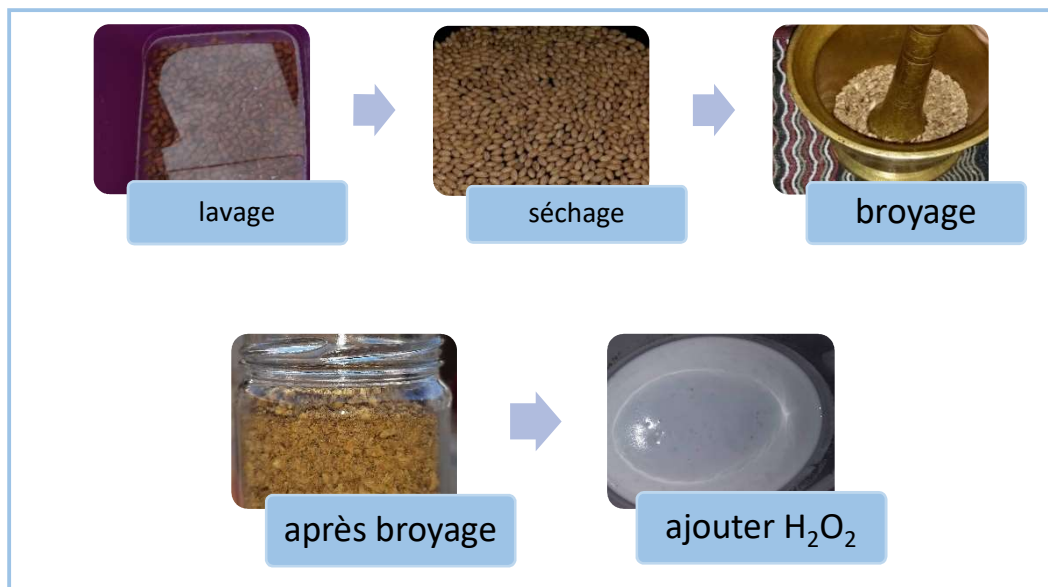


Figure II.1 : lavage et broyage, séchage noyaux d'olive.

Ensuite addition d'une solution concentrée d'acide phosphorique à ces noyaux d'olive pendant 4 heures, et séchés à l'étuve à 100°C durant 24 heures.



Figure II.2 : préparation de charbon actif

Les noyaux d'olives sont calcinés à 450°C dans un four pendant 2 heures, après lavés charbon actif plusieurs fois avec l'eau distillée, nous sommes testés avec nitrate d'argent AgNO₃ nous avons obtenu des résultats négatifs, car nous avons remarqué que la solution est devenue transparente, nous laissons sécher à température ambiante, puis nous le broyons jusqu'à ce qu'il se transforme en poudre et dans la dernière étape, nous le tamisons.

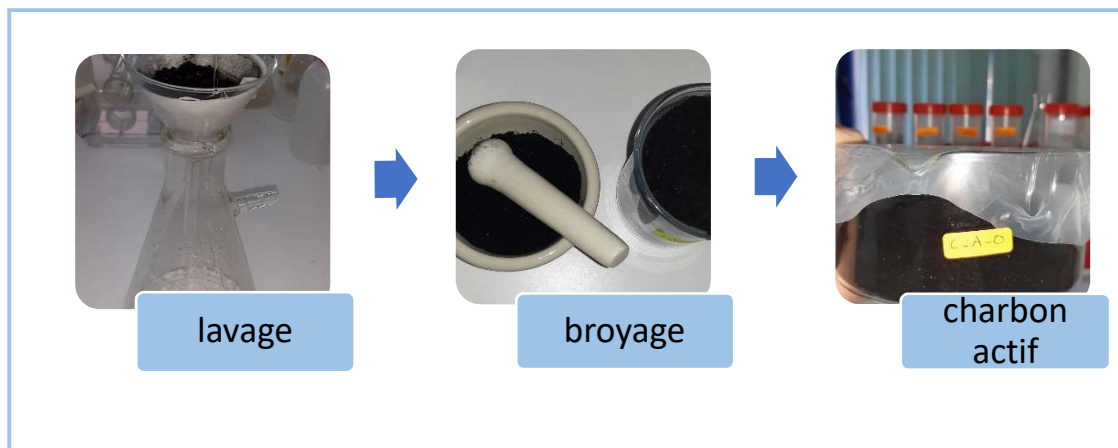


Figure II.3 : lavage et broyage, tamisage.

II-7 Préparation des échantillons noyaux d'olive avec acétate de Zn

Dans cette partie du travail, nous avons préparé un mélange de noyaux d'olive et d'acétate de zinc, afin d'assurer la qualité de notre produit, nous avons préparé une série de 7 solutions selon le protocole suivant :

II.7.1 Solution Zn pure

- peser une masse d'acétate de Zinc, dissoudre dans un volume de l'eau distillé et une additif éthanolamine .
- Laisser mélanger pendant 24h à une température de 50 °C et une vitesse moyenne.
- puis augmenté le pH de notre solution PH=9.
- laisser reposer pendant plusieurs heures et retirer l'excédent de la solution comme indiqué sur la figure.
- sécher à une température de 100 °C.
- calciner au four à une température de 450°C pendant 2 heures.
- laver plusieurs fois avec l'eau.

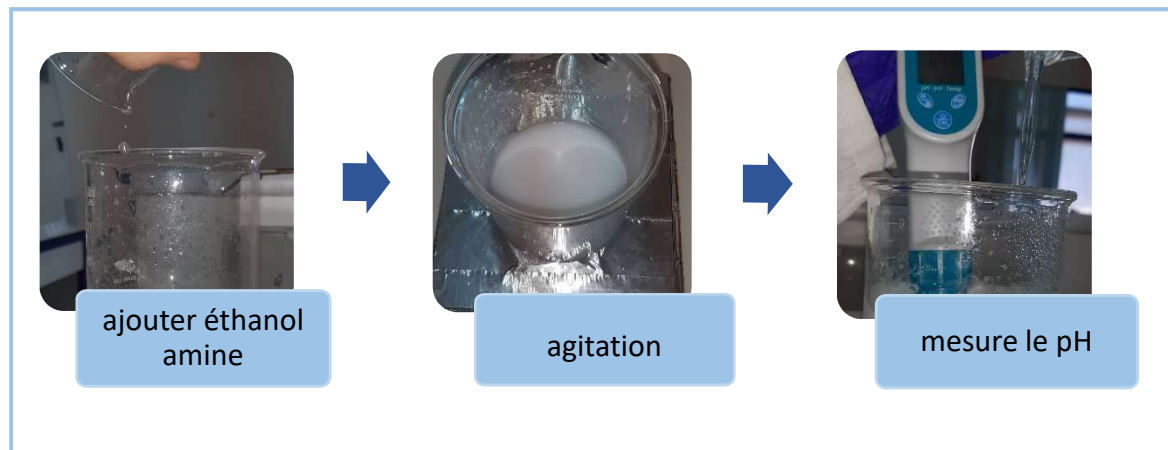


Figure II.4 : préparation de solution Zn pure.

II-7.2 Solution 5% (Zn 5%, noyaux d'olive 95%)

- peser une masse de matière végétale (Noyaux d'olive) et une masse d'acétate de Zinc, dissoudre dans un volume de l'eau distillé et une additif éthanolamine .
- Laisser mélanger pendant 24h à une température de 50 °C et une vitesse moyenne.
- puis augmenté le ph de notre solution PH=9.
- laisser reposer pendant plusieurs heures et retirer l'excédent de la solution comme indiqué sur la figure.
- séché à une température de 100 °C.
- calciner au four à une température de 450°C pendant 2 heures.
- laver plusieurs fois avec l'eau distillé, sécher à l'étuve.

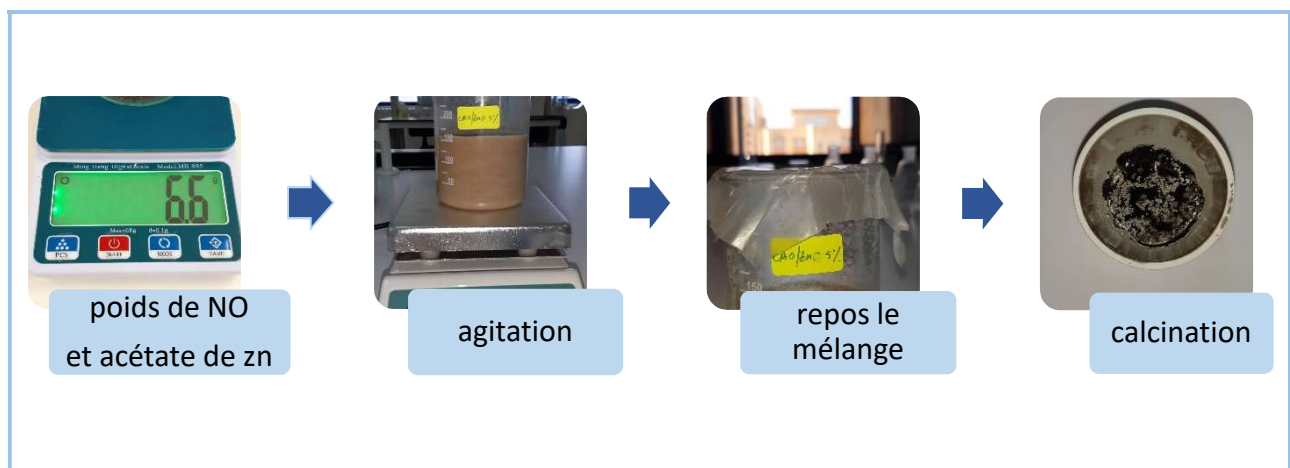


Figure II.5 : préparation solution 5% (Zn 5%, noyaux d'olive 95%).

II-7.3 Solution 10% (Zn 10%, noyaux d'olive 90%)

- peser une masse de matière végétale (Noyaux d'olive) et une masse d'acétate de Zinc, dissoudre dans un volume de l'eau distillé et une additif éthanolamine .
- Laisser mélanger pendant 24h à une température de 50 °C et une vitesse moyenne.
- augmenter le pH de notre solution PH= 9.
- laisser reposer pendant plusieurs heures et retirer l'excédent de la solution comme indiqué sur la figure.
- sécher à une température de 100 °C.
- calciner au four à une température de 450°C pendant 2 heures,
- laver plusieurs fois avec l'eau distillé, sécher à l'étuve.



Figure II.6 : préparation solution 10% (Zn 10%, noyaux d'olive 90%).

II.7.4 Solution 20% (Zn 20%, noyaux d'olive 80%)

- peser une masse de matière végétale (Noyaux d'olive) et une masse d'acétate de Zinc, dissoudre dans un volume de l'eau distillé et un additif éthanolamine
- Laisser mélanger pendant 24h à une température de 50 °C et une vitesse moyenne.
- augmenter le pH de notre solution PH=9.
- laisser reposer pendant plusieurs heures et retirer l'excédent de la solution comme indiqué sur la figure.
- sécher à une température de 100 °C.
- calciner au four à une température de 450°C pendant 2 heures.
- laver plusieurs fois avec l'eau distillé , sécher à l'étuve.

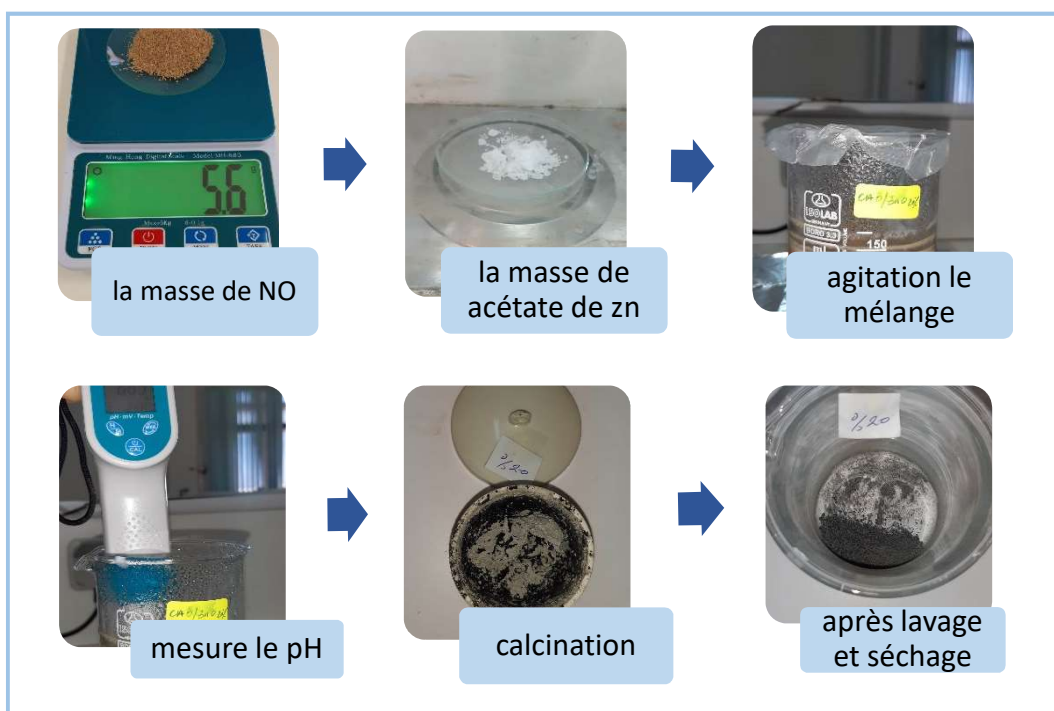


Figure II.7 : préparation solution 20% (Zn 20%, noyaux d'olive 80%).

II.7.5 Solution 50% (Zn 50%, noyaux d'olive 50%)

- pesé une masse de matière végétale (Noyaux d'olive) et une masse d'acétate de Zinc, dissoudre dans un volume de l'eau distillé et un additif éthanolamine.
- Laisser mélanger pendant 24h à une température de 50 °C et une vitesse moyenne.
- puis augmenté le pH de notre solution PH=9.
- laisser reposer pendant plusieurs heures et retirer l'excédent de la solution comme indiqué sur la figure.
- sécher à une température de 100 °C.

- calciner au four à une température de 450°C pendant 2 heures.
- laver plusieurs fois avec l'eau distillé, sécher à l'étuve.

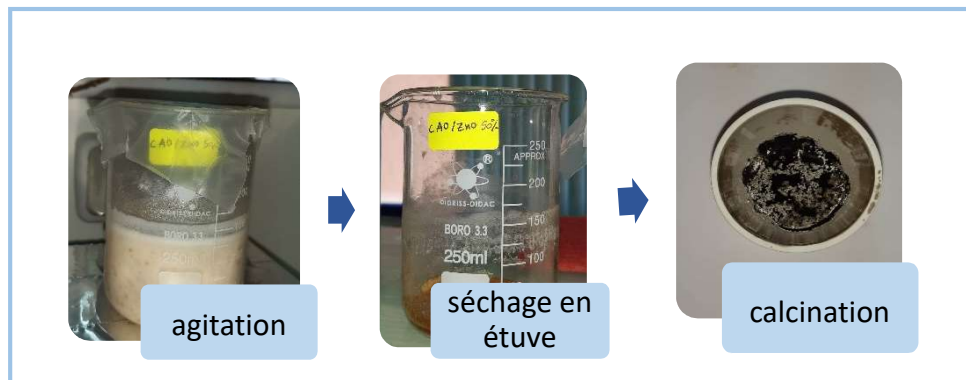


Figure II.8 : préparation solution 50% (Zn 50%, noyaux d'olive 50%).

II.7.6 Solution 80% (Zn 80%, noyaux d'olive 20%)

- peser une masse de matière végétale Noyaux d'olive et une masse d'acétate de Zinc, dissoudre dans un volume de l'eau distillé et une additif éthanolamine .
- Laisser mélanger pendant 24h à une température de 50 °C et une vitesse moyenne.
- puis augmenté le pH de notre solution PH=9.
- laisser reposer pendant plusieurs heures et retirer l'excédent de la solution comme indiqué sur la figure.
- sécher à une température de 100 °C.
- calciner au four à une température de 450°C pendant 2 heures.
- laver plusieurs fois avec l'eau distillé, sécher à l'étuve.

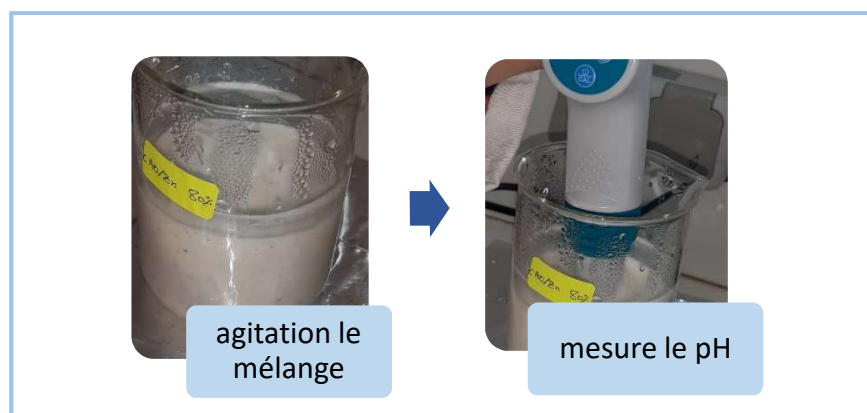


Figure II.9 : préparation solution 80% (Zn 80%, noyaux d'olive 20%).

II.7.7 Solution 0% (Zn 0%, noyaux d'olive 100%)

- peser une masse de matière végétale (Noyaux d'olive), dissoudre dans un volume de l'eau distillé.
- Laisser mélanger pendant 24h à une température de 50 °C et une vitesse moyenne,
- augmenter le pH de notre solution PH=9.
- laisser reposer pendant plusieurs heures et retirer l'excédent de la solution comme indiqué sur la figure.
- sécher à une température de 100 °C.
- calciner au four à une température de 450°C pendant 2 heures.
- laver plusieurs fois avec l'eau distillé, sécher à l'étuve.

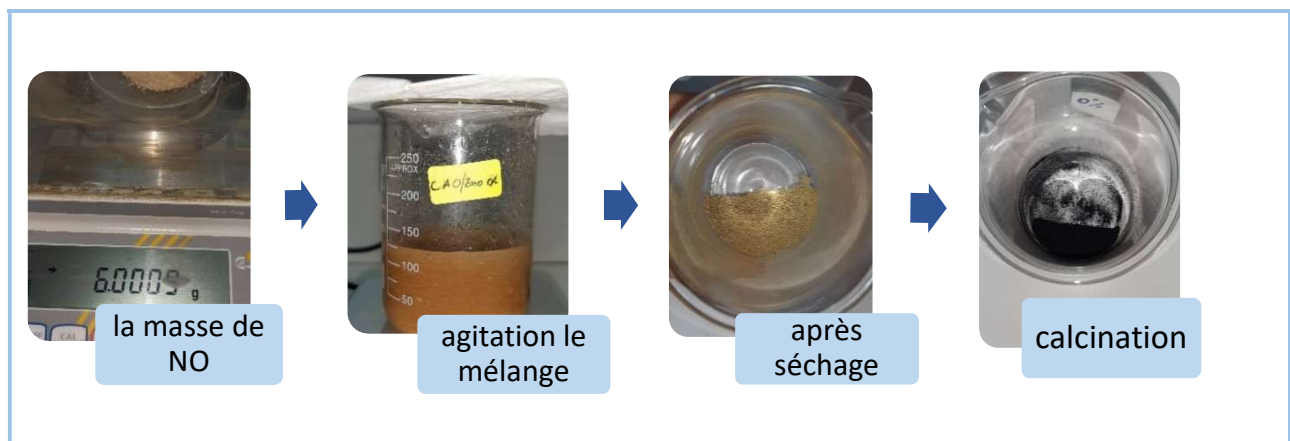


Figure II.10: préparation solution 0% (Zn 0%, noyaux d'olive 100%).

II.8 Préparation des charbons actif avec le cuivre**II.8.1 Solution 5% (CuO 5%, charbon actif 95%)**

- pèse une masse du charbon actif que nous avons préparé.
- ajouter une masse de nitrate de cuivre avec l'eau distillée.
- Laisser mélanger pendant 15 min.
- puis ajouter l'additif éthanolamine dans un agitateur pendant 24h à une température de 50 °C et une vitesse moyenne.
- Augmenter le pH de notre solution PH=11.
- Sécher à une température de 100 °C.
- calciner au four à une température de 450°C pendant 2 heures.
- laver plusieurs fois avec l'eau distillé, sécher à l'étuve.

II.8.2 Solution 10 % (Cu 10%, charbon actif 90%)

- peser une masse du charbon actif
- ajoutoner une masse de nitrate de cuivre avec l'eau distillée
- Laisser mélanger pendant 15 min
- puis ajouter l'additif éthanolamine dans un agitateur pendant 24h à une température de 50 °C et une vitesse moyenne.
- augmenter le pH de notre solution PH=11.
- Sécher à une température de 100 °C.
- calciner au four à une température de 450°C pendant 2 heures.
- laver plusieurs fois avec l'eau distillé, sécher à l'étuve.

II.8.3 Solution 20% (Cu 20%, charbon actif 80%)

- Peser une masse du charbon actif .
- ajouter une masse de nitrate de cuivre avec l'eau distillée.
- Laisser mélanger pendant 15 min.
- puis ajouter l'additif éthanolamine dans un agitateur pendant 24h à une température de 50 °C et une vitesse moyenne.
- augmenter le pH de notre solution PH=11.
- Sécher à une température de 100 °C.
- calciner au four à une température de 450°C pendant 2 heures.
- laver plusieurs fois avec l'eau , sécher à l'étuve.

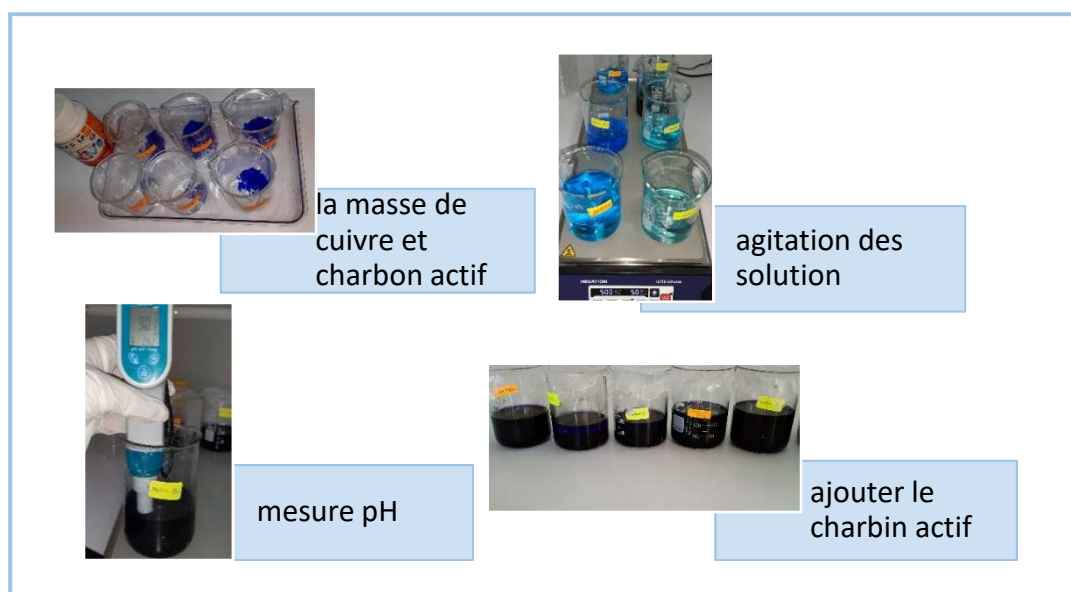


Figure II.11 : préparation série de charbon actif avec le cuivre.

II.8.4 solution 50% (Cu 50%, charbon actif 50%)

- Peser une masse du charbon actif .
- ajouter une masse de nitrate de cuivre avec l'eau distillée.
- Laisser mélanger pendant 15 min.
- puis ajouter l'additif éthanolamine dans un agitateur pendant 24h à une température de 50 °C et une vitesse moyenne.
- augmenter le pH de notre solution PH=11.
- Sécher à une température de 100 °C.
- calciner au four à une température de 450°C pendant 2 heures.
- laver plusieurs fois avec l'eau , sécher à l'étuve.

II.8.5 Solution 80% (Cu 80%, charbon actif 20%)

- Peser une masse du charbon actif .
- ajouter une masse de nitrate de cuivre avec l'eau distillée.
- Laisser mélanger pendant 15 min.
- puis ajouter l'additif éthanolamine dans un agitateur pendant 24h à une température de 50 °C et une vitesse moyenne.
- augmenter le pH de notre solution PH=11.
- Sécher à une température de 100 °C.
- calciner au four à une température de 450°C pendant 2 heures.
- laver plusieurs fois avec l'eau , sécher à l'étuve.

II.8.6 Solution nitrate de cuivre pur

- peser une masse de nitrate de cuivre.
- Laisser mélanger avec l'eau distillée pendant 15 min..
- puis ajouter l'additif éthanolamine dans un agitateur pendant 24h à une température de 50 °C et une vitesse moyenne.
- augmenter le PH de notre solution PH=11.
- Sécher à une température de 100 °C.
- calciner au four à une température de 450°C pendant 2 heures.
- laver plusieurs fois avec l'eau distillé, sécher à l'étuve.

II.9 Traitement des eaux usées de la station d'épuration (STEP) de la ville de M'sila

Comme dernière étape, pour traiter les eaux usées nous avons prélevé un échantion de la STEP de ghazel (**eau de sortie**) et veiller à la conservation dans une glaciere pour conserver les memes paramètres physicochimiques et biologiques. Ensuite nous avons mesuré : conductivite -PH- température. Nous avons divisé notre travail en deux parties , une partie correspond au traitement par adsorption et l'autre par photocatalyse.

Parie I (Adsorption)

1. on a préparé 6 solutions d'eau de sortie, chaque solution contenait : **50ml** avec **0.0500g** de poudre et on les met agiter à l'obscurité pendant **45 min** . Les poudres sont:

- CAO/ZnO (0%)
- CAO/ZnO(10%)
- CAO/ZnO(80%)

Et pour le série de le cuivre :

- CA/CuO (0%)
- CA/CuO(10%)
- CA/CuO(80%)

Et argile de maghnia

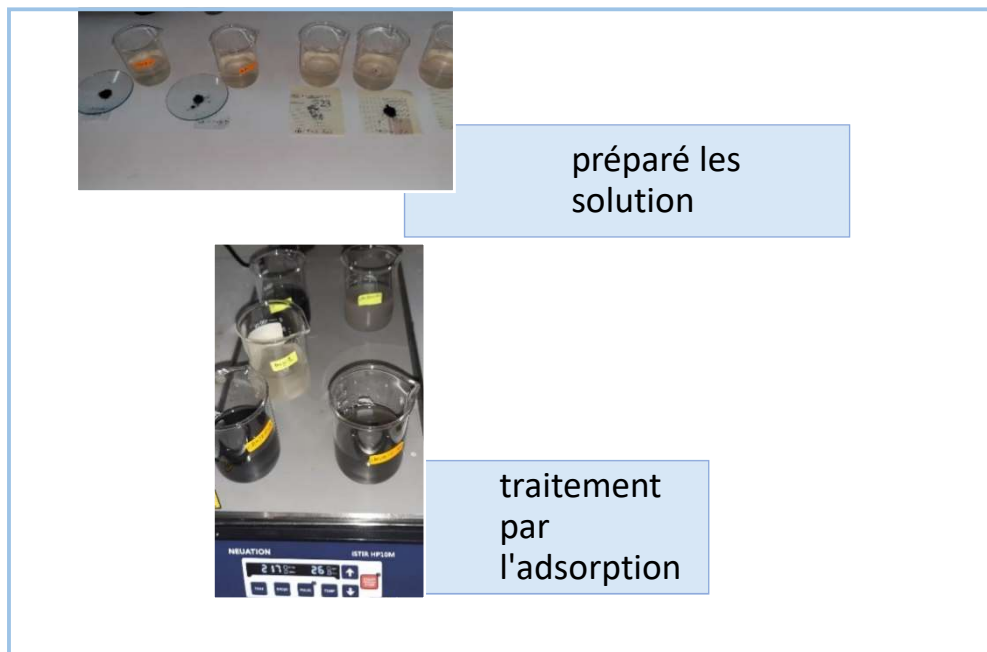


Figure II.12: traitement par adsorption de l'eau sortie.

2. Après la période de traitement par adsorption , on filtre les solutions puis mesure les paramètres physicochimiques.



Figure II.13: filtration de l'eau traitée par l'adsorption.

3. Mesure les paramètres de l'eau traitée : CE, PH, température,SDT

Les appareils utilisés



Figure II.14 : Conductimètre, pH-mètre.

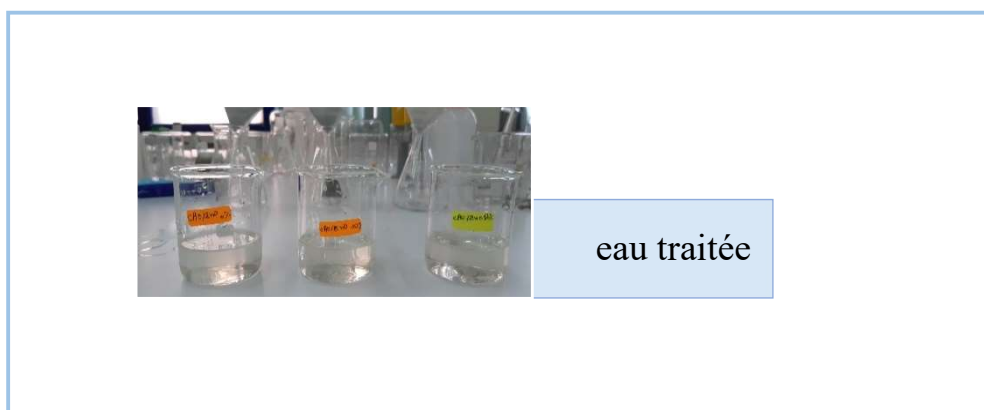


Figure II.15: l'eau traitée par l'adsorption.

Parie II(photocatalyse)

1. on a préparé 6 solution des pourcentages différentes comme ci-dessous , chaque solution contenait : **50ml** de eau sortie de la STEP avec **0.0500g** de notre poudre et on les met agiter sous les rayons UV pendant **45 min** .

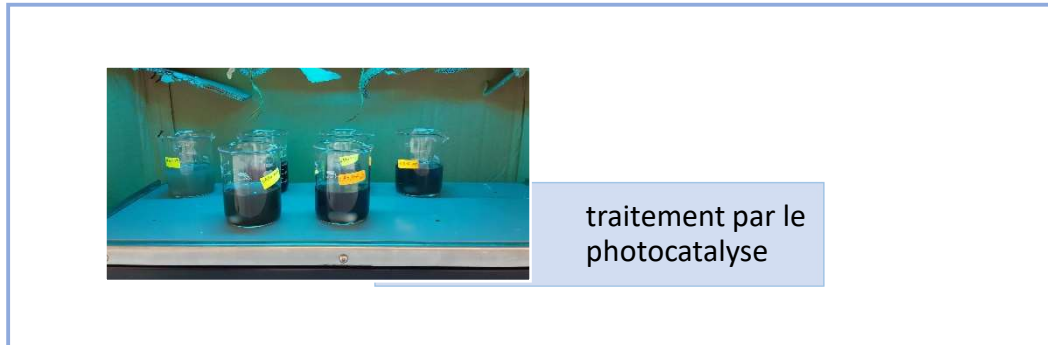


Figure II.16:traitement par photocatalyse de l'eau sortie.

2. Après traitement par le photocatalyse on filtre aussi.
3. Mesure les paramètres de eau traitée :conductivite ,PH,température .

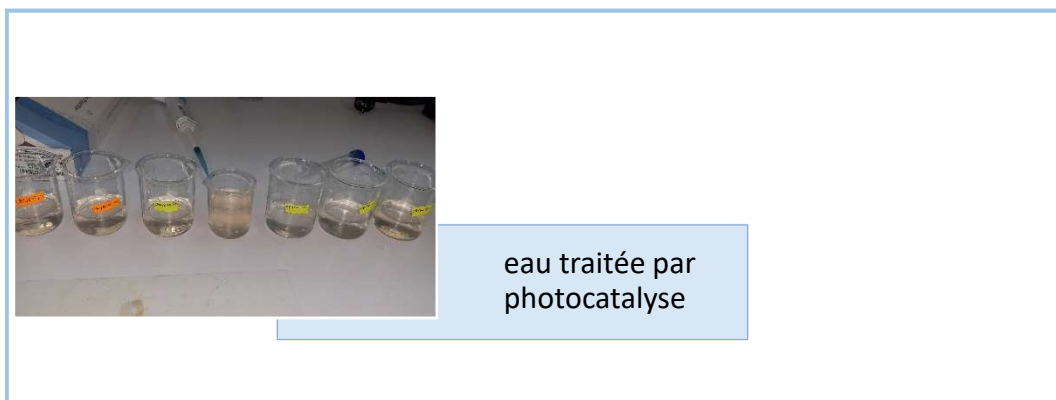


Figure II.17: l' eau traitée par photocatalyse.



FigureII.18 : appareil IR



FigureII.19: Appareil UV

Chapitre III

Les résultats et interprétations

III.1 Résultat de caractérisation des échantillons élaborés

III.1.1DRX

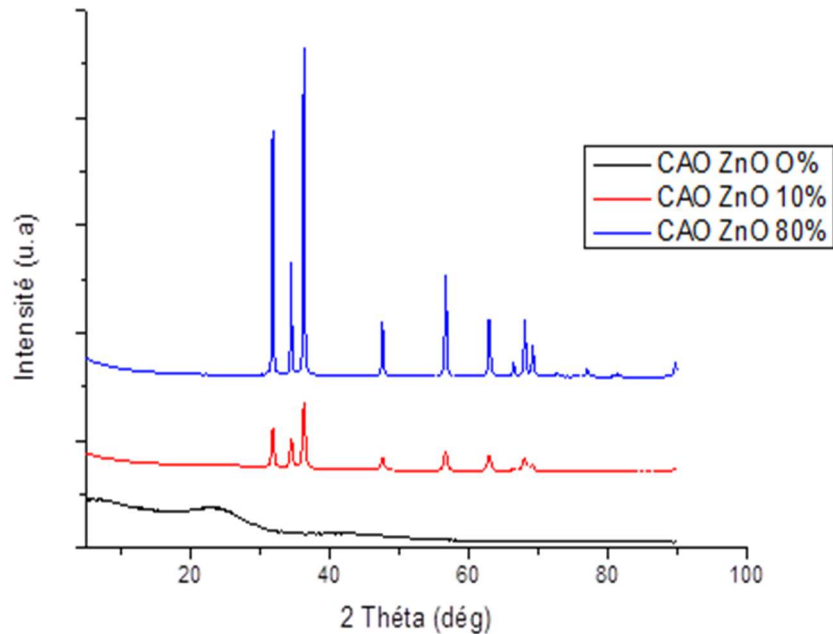


Figure III.1: spectres DRX de différents échantillons élaborés (CAO/ZnO 0%, 10 % et 80%).

Le spectre DRX de charbon actif pur (CAO/ZnO 0%) montre une structure semi cristalline avec un pic large vers 23 ° correspond à 002 réflexion.

Dans le spectre (CAO/ZnO 10%), nous avons constaté l'apparition des pics attribué à des particules de ZnO. Ces pics sont plus intenses dans le spectre (CAO/ZnO 80 %) en raison de le pourcentage des particules de ZnO est supérieur à l'échantillon (CAO/ZnO 10%).

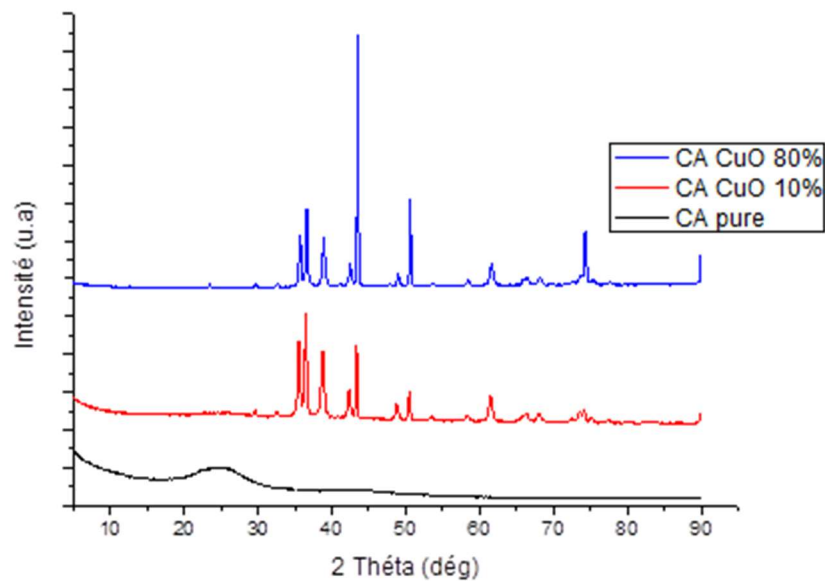


Figure III.2: spectres DRX de différents échantillons élaborés (CA/CuO 0%, 10% et 80%).

Le spectre DRX de charbon actif pur (CAO/CuO 0%) montre une structure semi cristalline avec un pic large vers 25 ° correspond à 002 réflexion.

Dans le spectre (CAO/CuO 10%) Nous avons constaté l'apparition des pics attribués à des particules de CuO notamment à des 2θ : 35.5°, 36.5°, et 43.7. Ces pics sont plus intenses dans le spectre (CAO/CuO 80 %) en raison de le pourcentage des particules de ZnO est supérieur à l'échantillon (CAO/CuO 10%).

D'après ces deux figures nous avons remarqué que les particules de ZnO et CuO ont bien synthétisé et hybridé avec le charbon actif.

III.1.2 IR

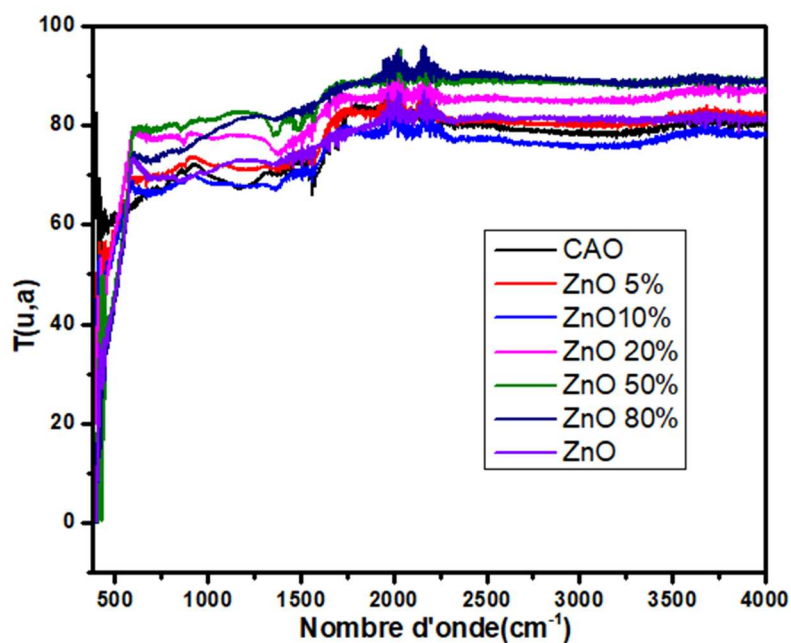


Figure III.3 : spectres IR des différents échantillons élaborés par ZnO.

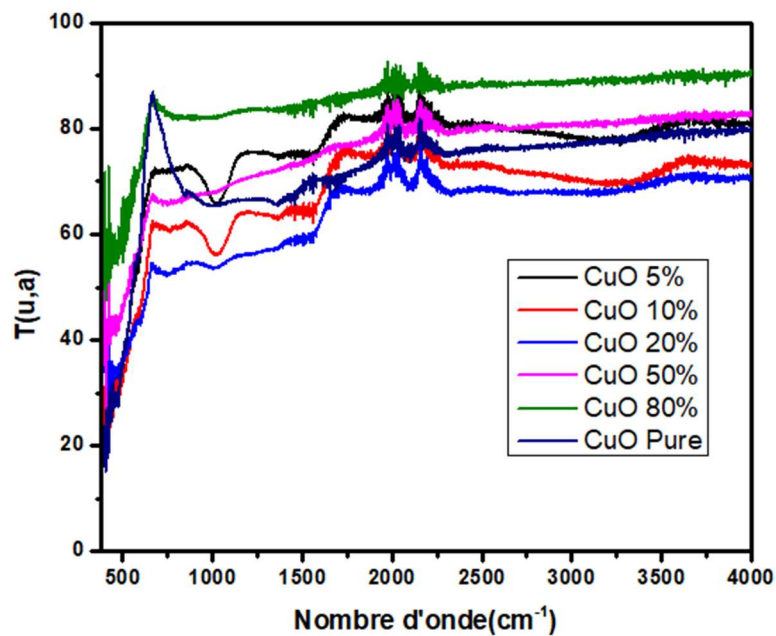


Figure III.4: spectres IR des différents échantillons élaborés par CuO.

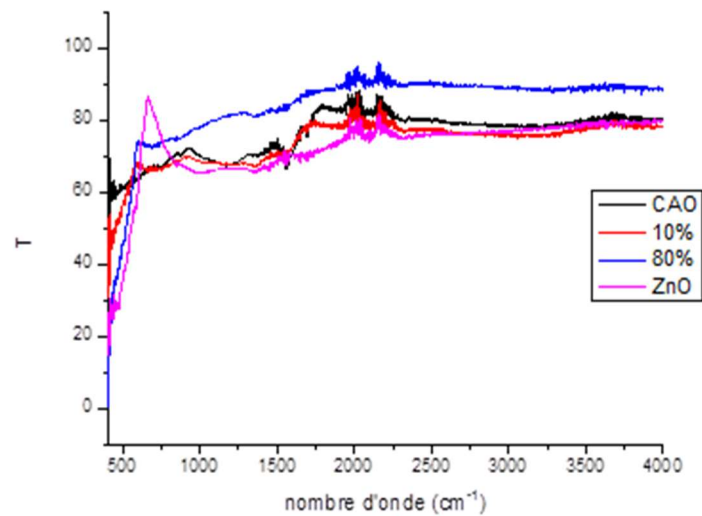


Figure III.5 : spectres infrarouge des échantillons CAO/ZnO élaborés.

Les spectres IR -FT du charbon actif préparé C a été présentés à la **figure III.5** les bandes à 3350 et 1080 cm^{-1} ont été attribuées aux liaisons O-H et à l'élongation C-OH des groupes phénoliques, respectivement.

Les bandes observées dans la région entre 1690 cm^{-1} et 1550 cm^{-1} ont été attribués à l'élongation symétrique C=C des groupes prônes et C=O des groupes carboxyliques respectivement.

Pour le spectre de ZnO pure ; un pic observé à 850 cm^{-1} est dû à la coordination tétraédrique de Zn [90].

Le pic d'absorption inférieur à 499 cm^{-1} est attribué au pic métal-oxygène du mode d'élongation Zn-O. Ces pics montions sont présenté dans les spectres (CAO/ZnO 10 et 80%).

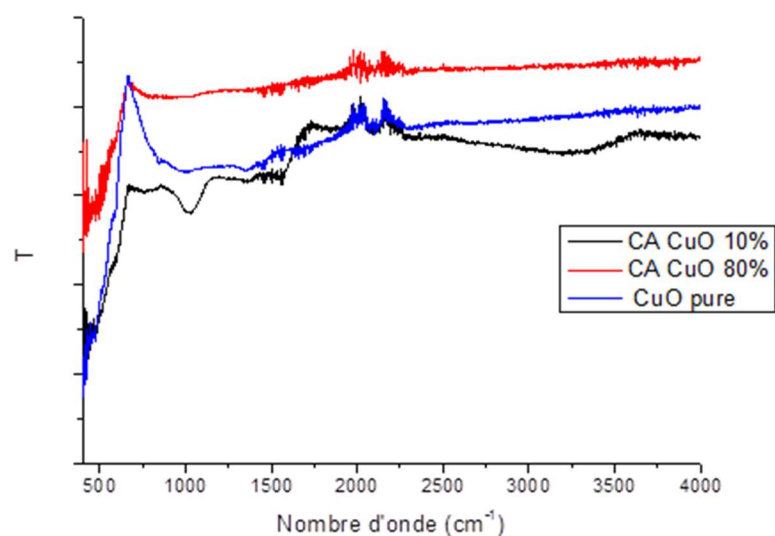


Figure III.6 : spectres infrarouge des échantillons CA/CuO élaborés.

Pour le spectre (CA/CuO 10%), la large bande à $1200 - 900 \text{ cm}^{-1}$ est communément décrite dans les carbones oxydés, et elle a été attribuée à l'élongation de C–O dans les groupes acides, alcools, phénols, éthers et esters, mais cette bande est également caractéristique du phosphore et des composés phosphocarbonés présents dans les charbons actifs activés par l'acide phosphorique[91]. Cette bande est disparue dans le spectre (CA/CuO 80%), ce qui signifie que les particules de CuO sont bien disposées à la surface du charbon.

III.1.3 UN-VISIBLE

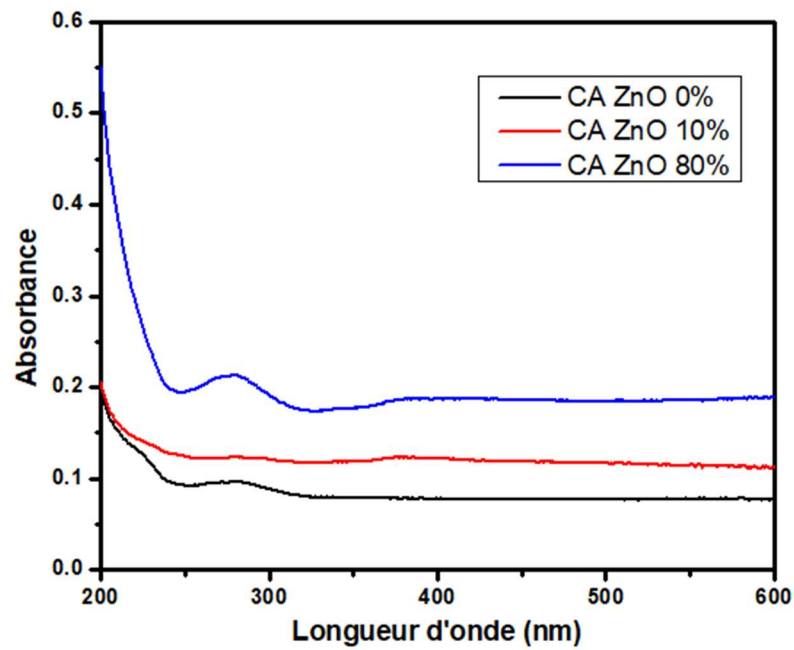


Figure III.7: spectres UV-Visible des échantillons élaborés par ZnO.

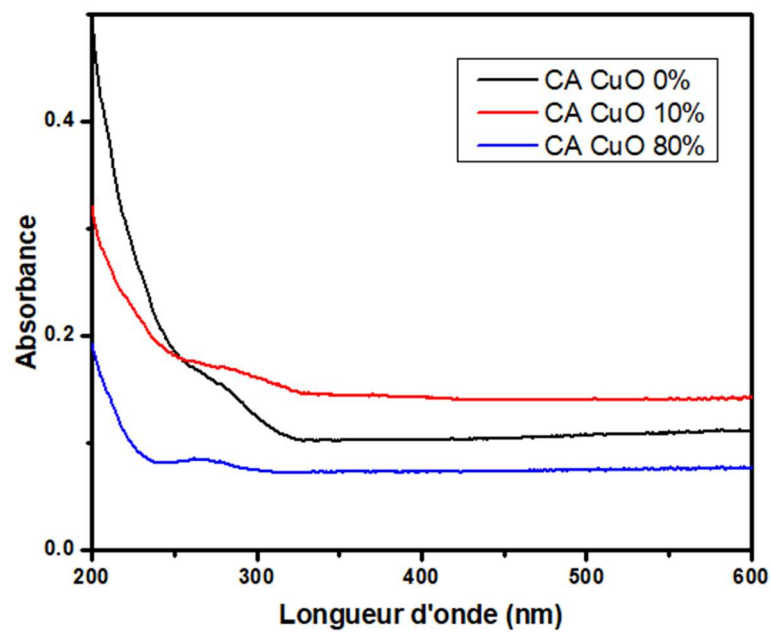


Figure III.8: spectres UV-Visible des échantillons élaborés par CuO.

III.2 Résultat de traitement de l'eau par photocatalyse-adsorption

III.2.1 Résultat de traitement de l'eau par Adsorption

Les analyse de l'eau sont : CE, SDT, pH, T

Eau sortie : CE =3.85ms/cm, SDT= 2.299 g/l, PH = 8.5, T= 25C°

Les résultats ont montré une diminution remarquable de la conductivité électrique de l'eaux après les traitements (par adsorption ou par photocatalyse).

Tableau III-1 : Résultats CE, SDT, pH, T pour le traitement par adsorption

	CE (ms/cm)	SDT(g/l)	PH	T(C°)
CAO/ZnO 0%	2.85	1.5675	8.0	25.5
CAO/ZnO 10%	2.99	1.6445	8.2	25.5
CAO/ZnO 80%	3.18	1.749	8.2	25.5
Argile	3.09	1.6995	8.2	25.9
CA/CuO 0%	2.33	1.2815	7.6	25.4
CA/CuO 10%	2.98	1.639	8.0	25.8
CA/CuO 80%	3.11	1.7105	8.1	25

III.2.2 Résultat de traitement de l'eau par photocatalyse

Tableau III-2 : Résultats CE, SDT, pH, T pour le traitement par photocatalyse

	CE (ms/cm)	SDT(g/l)	PH	T(C°)
CAO/ZnO 0%	2.77	1.5235	7.6	25.6
CAO/ZnO 10%	2.71	1.4905	8.0	25.6
CAO/ZnO 80%	2.41	1.3255	7.9	25
CA/CuO 0%	2.60	1.43	7.8	25
CA/CuO 10%	2.47	1.3585	7.9	25

CA/CuO 80%	2.89	1.5895	8.0	25.4
------------	------	--------	-----	------

III.3 Résultat UV-Visible

III.3.1 Résultat de l'adsorption

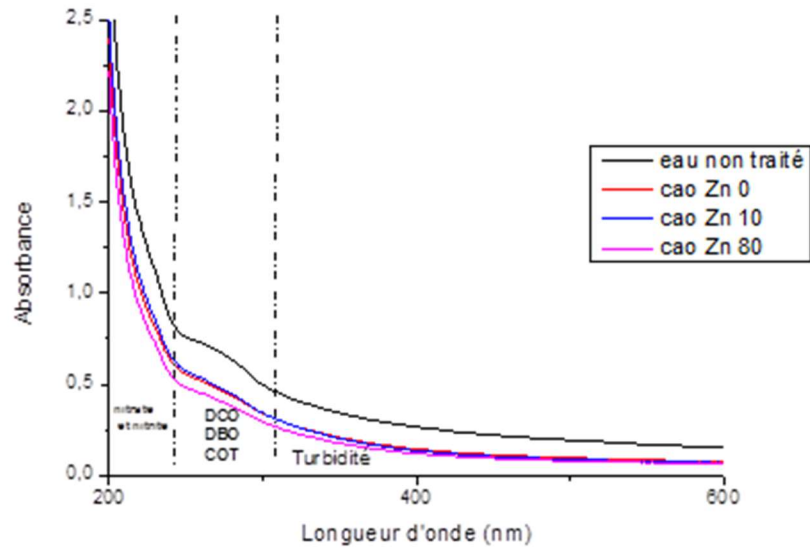


Figure III.9 : spectres UV Visible des eaux avant et après traitement par adsorption CAO/ ZnO.

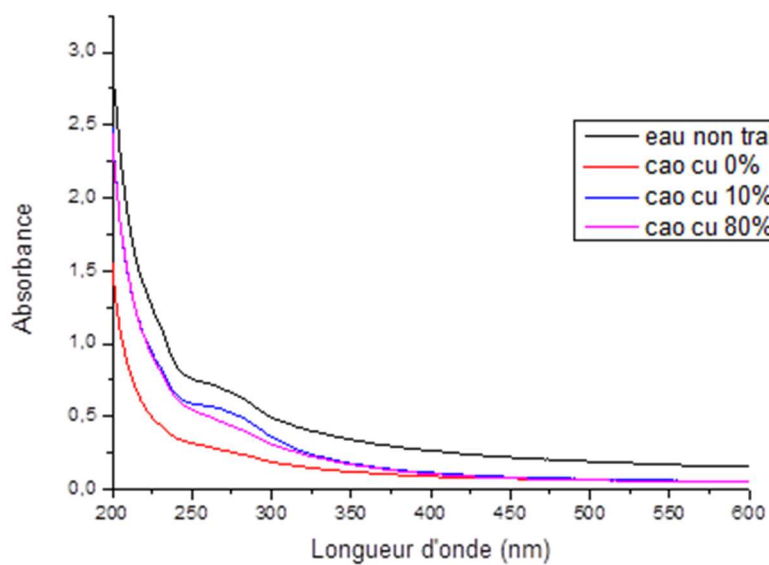


Figure III.10: spectres UV Visible des eaux avant et après traitement par adsorption CA/CuO.

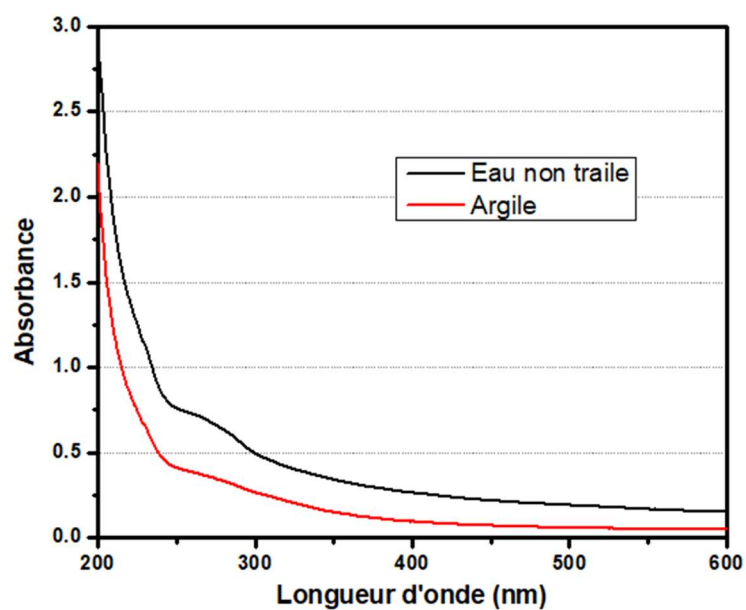


Figure III.11: spectres UV Visible des eaux avant et après traitement par adsorption de l'argile.

III.3.2 Résultat de photocatalyse

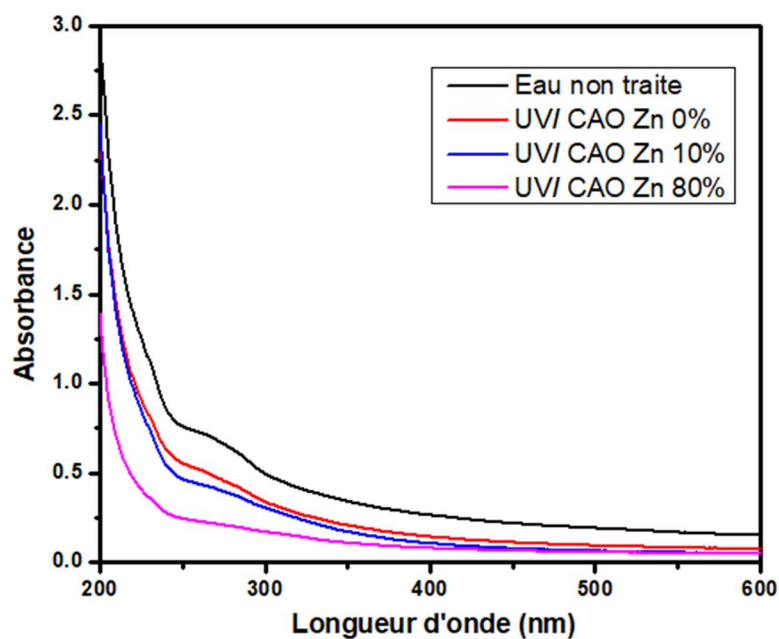


Figure III.12 : spectres UV Visible des eaux avant et après traitement par photocatalyse CAO/ZnO.

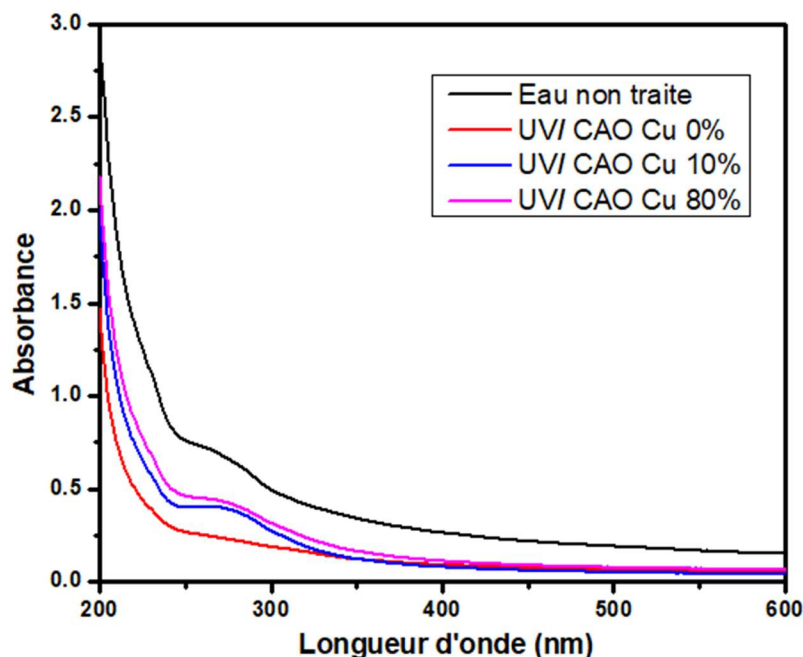


Figure III.13 : spectres UV Visible des eaux avant et après traitement par photocatalyse CA/CuO.

Il est connu que les nitrates et nitrites absorbent dans UV à des longueurs d'onde <240 nm. Bien que les micropolluants organique non colorés absorbent dans le domaine (240-300 nm) (DCO, DBO et COT).

Les composés organiques colorés et turbides absorbent dans des longueurs d'onde supérieur à 400 nm.

L'analyse des eaux usées par UV visible n'est pas une méthode précise pour évaluer les paramètres physicochimique des eaux. Mais on peut savoir le rendement et l'efficacité de traitement utilisé (adsorption ou catalyse). Nous avons basé sur l'efficacité d'élimination des micropolluant organiques (240-300nm). On peut calculer le rendement d'élimination par cette relation :

$$R (\%) = [(A_{ENT} - A_{ET}) / A_{ENT}] \times 100$$

A_{ENT} : Absorbance de l'eau non traitée dans le domaine 240-300 nm.

A_{ET} : Absorbance de l'eau traitée dans le domaine 240-300 nm.

➤ **Les résultats obtenus sont résumés sur le Tableau III-3**

Tableau III-3 : Résultats obtenus de rendement d'élimination des micropolluants organiques.

	Rendement d'élimination par adsorption (%)	Rendement d'élimination par photocatalyse (%)
CAO ZnO 0%	27.4	38
CAO ZnO 10%	32	44
CAO ZnO 80%	39.7	71
CA CuO 0%	60.3	61
CA CuO 10%	22	45
CA CuO 80%	33	42
Argile	50	---

D'après ces résultats on peut constater que :

- Une bonne élimination des micropolluants organiques (plus de 30%) pour tous les matériaux élaborés sachant que nous avons utilisé une faible dose d'adsorbant-eau (1g/L) et une courte durée de contact adsorbant-eau.
- Le charbon actif préparé par activation phosphorique (CA CuO%, Taux de phosphore et 100%) donne un rendement mieux que celle activé par KOH (CAO ZnO 0%, Taux de KOH est faible < 20%).
- L'Argile de Maghnia donne un bon rendement d'élimination des micropolluants organique.
- L'hybridation de charbon actif par ZnO améliore l'adsorption, peut être interpréter par création de nouveau site d'adsorption à la surface de charbon
- L'hybridation de charbon actif par CuO va diminuer l'adsorption, peut être interpréter par formation d'autre phase de cuivre comme Cu_2O et Cu qui peuvent gêner d'adsorption à la surface de charbon.
- Une amélioration de rendement de traitement des eaux usés par photocatalyse est observée pour les matériaux hybrides (charbon actif/ZnO et Charbon actif/CuO) en comparaison avec le traitement par adsorption.

CONCLUSION

Conclusion

La réutilisation des eaux usées pures est un schéma qui vise à produire des quantités d'eau supplémentaires pour divers usages économiques et environnementaux. Dans cette étude, nous avons traité les eaux usées de la station d'épuration de la ville de M'sila en fabriquant de la poudre à partir des déchets agricoles.

Nous avons fabriqué une poudre à partir de déchets agricoles qui est célèbre pour l'état de M'sila, qui est des os d'olive avec de l'oxyde métallique, et nous avons préparé deux séries avec CuO et ZnO, dans des proportions différentes **0%, 20% ; 5%, 10%, 50%, 80%** pour le test le plus efficace.

La méthode utilisée est basée sur un système hybride adsorption-photocatalyse et on déduit que les particules de ZnO et CuO ont bien synthétisé et hybridé avec le charbon actif obtenu des résultats très satisfaisants pour le traitement des eaux usées.

Les résultats obtenus au niveau du laboratoire portant sur caractérisations des échantillons élaborés (DRX, IR, UV) et plusieurs paramètres physico-chimiques avant et après le traitement, tels que (pH, CE, SDT, T,) et pour les analyses après le traitement {UV Adsorption, UV photocatalyse} sont généralement conformes aux normes algériennes de rejet et aux normes d'irrigation internationales fixées par la FAO et l'OMS.

Référence
Bibliographies

Référence Biographique

- [1] Blandine Vicent<< Pollution de l'eau : les polluants naturels de l'eau >>, Traductrice. 25 novembre 2021 <https://www.projetecolo.com/pollution-de-l-eau-les-polluants-naturels-de-l-eau-432.html>.
- [2] <https://byjus.com/biology/global-warming/>
- [3] « Etude et suivi des effluents liquides dans l'unité de traitement du complexe GL1/Z ». 2013.
- [4] Hadj sadok Z. 1999, « Modélisation et estimation des bioréacteurs, prise en compte des incertitudes, application au traitement de l'eau », thèse de doctorat, Université de Nice Sophia Antipolis.
- [5] Rout, J., Misra, M., Tripathy, S. S., Nayak, S. K., & Mohanty, A. K. (2001). The influence of fibre treatment on the performance of coir-polyester composites. *Composites Science and Technology*, 61(9), 1303-1310.
- [6] Rodier, J. (2005). L'analyse de l'eau naturelle, eaux résiduaires, eaux de mer. 8ème Edition DUNOD technique. Paris, 1008-1043.
- [7] Grosclaude, G. (1999). L'eau : Tome 2 : Usages et polluants. Quae.
- [8] <https://www.1h2o3.com/apprendre/parametres-des-eaux-usees/quelles-sont-les-caracteristiques-des-eaux-usees/>
- [9] Rodier, J., L'analyse De L'eau (Eaux Naturelles, Eaux Résiduaires Et Eaux De Mer), 8ème Edition, Dunod, Paris, 1997, p 66.
- [10] « Les différents paramètres physiques et chimiques des eaux et commentaires. * -CPEPESC - Commission de Protection des Eaux », CPEPESC, 2017. <https://www.cpepesc.org/Les-principaux-parametres.html> (consulté le juin 14, 2020).
- [11] Rodier, J., Legube, B., & Merlet, N. (2009). L'Analyse de l'eau 9e édition. Entièrement Mise À Jour Dunod Paris.
- [12] Thomazeau, R. (1981). Stations d'épuration : eaux potables, eaux usées : précis théorique et technologique. Technique et documentation.
- [13] Mahmoud B. Traitement Des Eaux Usées. <http://eauxenvironnement.blogspot.com>.
- [14] NALCO. (1983) Manuel de l'eau, Edition Tec- Doc – Lavoisier, Paris.
- [15] Thomazeau, R. (1981). Station d'épuration. Eaux potables-Eaux usées, Edition technique et Documentation, Paris.
- [16] Taradat M H, (1992), Chimie des eaux. Première, le griffon d'argile inc, canada. 537p.
- [17] Suschka, J., & Ferreira, E. (1986). Activated sludge respirometric measurements. *Water research*, 20(2), 137-144.
- [18] Dr. Nasr Al-Hayek. (2017)<< Livre d'introduction à la chimie de l'eau (pollution –traitement analyse)>><https://learnchemistry12.com/2023/01/%D9%83%D8%AA%D8%A7%D8%A8-%D9%85%D8%AF%D8%AE%D9%84-%D8%A5%D9%84%D9%89-%D9%83%D9%8A%D9%85%D9%8A%D8%A7%D8%A1-%D8%A7%D9%84%D9%85%D9%8A%D8%A7%D9%87.html>.

- [19] Nadia Morin-Crini, Peter Winterton, Giuseppe Trunfio, Giangiacomo Torri, Nicolas Louvard, Sarah Girardot, Xavier Hutinet et Grégorio Crin. (2017) << Paramètres chimiques de l'eau et rejets industriels >> <https://books.openedition.org/pufc/10972>.
- [20] Martin, G. (1979). Le problème de l'azote dans les eaux, Ed. Technique et Documentation. Lavoisier, Paris, 231-246.
- [21] Tarmoul, F., & Sodi, M. (2007). Mémoire, «Détermination de la pollution résiduelle d'une station d'épuration par lagunage naturel». Tribune de l'eau, (563/3), 27-32.
- [22] Cauchi, H., Nakache, S., Zagury, B., Carre, C., Denis, D., Larbaigt, D., & Martigne, S. (1996). Dossier: la réutilisation des eaux usées après épuration. Techniques. Sciences et méthodes, 2, 81-118.
- [23] <https://www.sevre-nantaise.com/lexique/dbo5>
- [24] Dictionnaire encycloédique de l'eau. Édition Edi science international, paris. 487 p
- [25] Metahri, M. S. (2012). Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par des procédés mixtes : cas de la STEP est de la ville de Tizi Ouzou (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- [26] CSHPF. (1995)., Recommandations sanitaires relatives à la désinfection des eaux usées urbaines, 22p.
- [27] Asano, T. (Ed.). (1998). Wastewater reclamation and reuse : water quality management library (Vol. 10). CrcPress.
- [28] Asano. 1998. site Internet du ministère de la Santé du Canada (www.hc-sc.gc.ca).
- [29] Faby, (1997). L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Office International de L'Eau, 76 pages.
- [30] Boyd C.E. (1970). Chemecalanalyse of some vascular aquaic plants. P.50.
- [31] Benson, N. (2008). Encyclopedia of global warming and climate change (Doctoral dissertation, Ed. S. Philander).
- [32] Emilian, K. O. L. L. E. R. (2004). Traitement des pollutions industrielles. Ed. Dunod, Paris, France.
- [33] Bridgman Howard, A. (2001). Encyclopedia of Global Change : Pollution. Ed. Andrew S. Goudie.
- [34] Aguilera, A., Souza-Egipsy, V., San Martín-Úriz, P., & Amils, R. (2008). Extraction of extracellular polymeric substances from extreme acidic microbial biofilms. Applied microbiology and biotechnology, 78, 1079-1088.
- [35] Roberts, S. M., Munson, J. W., Lowney, Y. W., & Ruby, M. V. (2007). Relative oral bioavailability of arsenic from contaminated soils measured in the cynomolgus monkey. Toxicological sciences, 95(1), 281-288.
- [36] Gérin, M., Gosselin, P., Cordier, S., Viau, C., Quénel, P., & Dewailly, É. (2003). Environnement et santé publique: Fondements et pratiques. Édisem/Tec & Doc

- [37] Bliefert, C., &Perraud, R. (2007). Chimie de l'environnement: air, eau, sols, déchets. De Boeck Supérieur.
- [38] FRANCK Rejsek. Analyse des eaux aspects réglementaires et techniques, lycée de borda
- [39] CARDOT Claude. Génie de l'environnement : les traitements de l'eau. Paris, 1999, P : 9.
- [40] J. RODIER., L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 8ème édition, Edition DUNOD, Paris, 1996.
- [41] Fawell, J., &Nieuwenhuijsen, M. J. (2003). Contaminants in drinking water Environmental pollution and health. British medical bulletin, 68(1), 199-208.
- [42] Trevors, J. T., &Saier Jr, M. H. (2007). Academics and their Knowledge are Underutilized. Water, Air and Soil Pollution, 186(1-4), 1.
- [43] Buriks C. (2000). Pollution of the naturel environment. The Oxford Companion to the Earth. Ed. Paul Hancock and Brian J. Skinner. Oxford University Press. Oxford Reference OnlineOxfordUniversityPress.
<http://0www.oxfordreference.com.edlis.ied.edu.hk/views/ENTRY.html?subview=Main&eNtry=t112>.
- [44] Bridgman Howard, A. (2001). Encyclopedia of Global Change: Pollution. Ed. Andrew S. Goudie.
- [45] Mémoire de fin d'études d'Ingénieur : Yagouba DIALLO. Ouagadougou – Juin 2005http://documentation.2ie-edu.org/cdi2ie/opac_css/doc_num.php?explnum_id=1007
- [46] Effets de la pollution de l'eau sur la santé humaine Publié sur 15 Février 2023 <https://www.medicoverhospitals.in/fr/articles/effects-of-water-pollution-on-human-health>
- [47] Bongiovanni, J. M. (1998). Traitement des boues résiduaires par l'association en série d'une déshydratation mécanique et d'un séchage thermique (Doctoral dissertation, Pau).
- [48] Styliidi, M., Kondarides, D. I., &Verykios, X. E. (2003). Mechanistic and kinetic study of solar-light induced photocatalytic degradation of Acid Orange 7 in aqueous TiO₂ suspensions. International Journal of Photoenergy, 5(2), 59-67.
- [49] Hung J. H., Bo-Heng L., Andrew J. Y., Photocatalytic transformation of pesticides in aqueous titanium dioxide suspensions using artificial and solar light: intermediates And degradation pathways, Catalysis Communications, 36, 2013, 16–19.
- [50] Kositzi, M., Antoniadis, A., Poullos, I., Kiridis, I., &Malato, S. (2004). Solar photocatalytic treatment of simulated dyestuff effluents. Solar Energy, 77(5), 591-600.
- [51] Aguedach, A., Brosillon, S., &Morvan, J. (2005). Photocatalytic degradation of azo-dyes reactive black 5 and reactive yellow 145 in water over a newly deposited titanium dioxide. Applied Catalysis B: Environmental, 57(1), 55-62.
- [52] Baumont S., Camard J.P., Lefranc A. & Franco A., (2002). Réutilisation des eaux épurée : risques sanitaire et faisabilité en Ile - de France, Paris : 12-13, 27-29.

- [53] Barka, N. (2008). L'élimination des colorants de synthèse par adsorption sur un phosphate naturel et par dégradation photocatalytique sur TiO₂ supporté. Université Ibn Zohr Faculté des Sciences d'Agadir, Maroc.
- [54] Alexander, J. T., Hai, F. I., & Al-Aboud, T. M. (2012). Chemical coagulation-based processes for trace organic contaminant removal: Current state and future potential. *Journal of environmental management*, 111, 195-207.
- [55] Cataldo, S., Ianni, A., Loddo, V., Mirenda, E., Palmisano, L., Parrino, F., & Piazzese, D. (2016). Combination of advanced oxidation processes and active carbons adsorption for the treatment of simulated saline wastewater. *Separation and Purification Technology*, 171, 101-111.
- [56] Daneshvar, N., Rabbani, M., Modirshahla, N., & Behnajady, M. A. (2004). Kinetic modeling of photocatalytic degradation of Acid Red 27 in UV/TiO₂ process. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 168(1-2), 39-45.
- [57] Chitour Chems. Eddine. (1992)., Livre., « Chimie des Surfaces », Edition Alger OPU.
- [58] Medjdoul, F., & Kadjite, K. (2018). Abattement des concentrations en sels d'alumine dans les eaux traitées de la station SEAAL du barrage de TAKSEBT par des procédés d'adsorption (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- [59] Trifi, I. M. (2012). Étude de l'élimination du chrome VI par adsorption sur l'alumine activée par dialyse ionique croisée (Doctoral dissertation, Université Paris-Est).
- [60] Ettlili, N. (2008). Procédé d'adsorption avec régénération électrothermique pour la capture du dioxyde de carbone en post-combustion (Doctoral dissertation, Institut National Polytechnique de Lorraine).
- [61] Mimanne G, Benhabib K, Benghalem A, 2014. Taleb s, étude de l'adsorption de métaux lourds (Pb et cd) en solution aqueuse sur charbon actif et montmorillonite sodée de l'ouest algérien, environ, sci.
- [62] Ai-Ashmawy. M.A, 2011. Prevalence and public health significance of aluminum residues in milk and some dairy products. *J. Food sci.* 76, t73-t76.
- [63] Yassine Bentahar, 2016, caractérisation physico-chimique des argiles marocaines: application à l'adsorption de l'arsenic et des colorants cationiques en solution aqueuse thèse dirigée par nicolasmarmier, khalidraoui, slimanekhairoun ; soutenue le 28 octobre p41.
- [64] Alice Meullemiestre ; 2014 : valorisation des déchets de la filière " bois " en deux étapes : isolation des molécules extractibles puis fabrication de charbon actif : cas du pin maritime. Génie des procédés. Université de la rochelle, Français .submitted on 10 jul 2015.244, p51.
- [65] Freeman. J, *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 48 (1990) 240-241
- [66] Rodriguez-Reinoso. F, in : publicaciones univ. Alicante, Marsh h, heintzea, rodriguezreinoso f, alicante, 1979, p35.
- [67] Telegang Chekem Cedric ,2017 : élaboration de matériaux composites bi fonctionnels charbon actif-tio₂ à partir des ressources végétales tropicales pour des applications de traitement de l'eau par voie solaire ; université de perpignan via domitia.p31-32.
- [68] Belaid K.D., Kacha S., Kameche M., Derriche Z., Adsorption kinetics of some textile dyes onto granular activated carbon, *J. Environ. Hem. Eng.* 1 (2013) 496-503.

- [69] Alahiane S., Qourzal S., El Ouardi M., Belmouden M., Assabbane A., Ait-Ichou Y., Adsorption and photocatalytic degradation of indigo carmine dye in aqueous solutions using TiO₂/UV/O₂, *J. Mater. Environ. Sci.* 4 (2) (2013) 239-250.
- [70] B. Ohtani, Photocatalysis A to Z— What we know and what we do not know in a scientific sense, *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*. Vol.11, pp. 157–178, 2010.
- [71] L. Zhang, Y. He, P. Ye, Y. Wu, T. Wu, Enhanced photodegradation activity of Rhodamine B by MgFe₂O₄/Ag₃VO₄ Under visible light irradiation, *Catalysis Communications*. Vol.30, pp. 14–18, 2013
- [72] La photocatalyse: dépollution de l'eau ou de l'air et matériaux autonettoyants, *Techniques de l'Ingénieur*, j1270, 2011.
- [73] Millet, M.L'oxygène et les radicaux libres (1re partie). *Sc. : Bios* 23, 1992. 67-70.
- [74] R. Andreozzi, V. Caprio, A. Insola, R. Marotta. Advanced oxidation processes (AOP) for water Purification and recovery, *s.l. Catalysis Today* 53, 1999. 51-59.
- [75] C. Pulgarin, N. Adler, P. Peringer, C. Cominellis. Electrochemical detoxification of 1,4-benzoquinone solution in wastewater treatment. *s.l. Water Research* 28, 1994. 887-893.
- [76] Helali, Sihem. application de la photocatalyse pour la dégradation des polluants chimiques et bactériologique dans l'eau en utilisant des catalyseurs irradiés par des photons de lumière Naturelle ou artificielle. Lyon :s.n. 2012.
- [77] J. Staehelin, J. Hoigné. Decomposition of ozone in water: rate of initiation by hydroxide ion and hydrogen peroxide, *s.l. Environmental Science & Technology* 16, 1982. 676-680.
- [78] Huchon, Raphael. Evaluation de l'activité photocatalytique de catalyseurs déposés sur différents supports. Lyon :s.n. 2006.
- [79] Biao Chen, Yuhuan Meng, Junwei Sha, Cheng Zhong, Wenbin Hu, Naiqin, Preparation of MoS₂/TiO₂ base nano composites for Photocatalysis and rechargeable batteries : Progress, challenges, and perspective, *Nanoscale*, 2018, 10, 34-68.
- [80] Quan Huo, Gongquan Liu, Haihui Sun, Yanfei Fu, Yao Ning, Boyu Zhang, Xubiao Zhang, Jing, Gao Jiarun Miao, Xiaolin Zhan, Suyan Liu, CeO₂-modified MIL-101 (Fe) for Photocatalysis extraction oxidation desulfurization of model oil under visible light irradiation, *Chemical Engineering Journal*, 2021, 422, 130036.
- [81] B. Ohtani, (2008), Preparing articles on Photocatalysis - Beyond the illusions, Misconceptions, and speculation. *Chemistry Letters*, 37 (3): 217-229.
- [82] J.M. Herrmann, Heterogeneous Photocatalysis: fundamentals and applications to the removal of various types of aqueous pollutants, *Catalysis Today* 53 (1999) 115-129.
- [83] S. Chatterjee, S. Sarkar, S.N. Bhattacharyya, Photodegradation of phenol by visible light in the presence of colloidal Fe₂O₃, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 81 (1994) 199-203.
- [84] G.V Samsonov. The oxide handbook Edited 1973.

- [85] U.Ozgor, Ya .I.Alivov, C.Liu, Teke, M.A.Reschikov, S.Dogan, V.Avretin, S.J.Cho, and H.Morcos; JOURNAL OF APPLIED PHISICS 98. 041301(2005).
- [86] MattiasElfwing. NasoscaleCharacterisation of barriers to Electron Conduction in ZnOVariston Materials MattiasElfwing.
- [87] MekhoukhMahieddineDellache Othman, Traitement Et Evaluation De La Decomposition Des Polluants Organiques Par Voie Photocatalique En Phase Aqueuse, 2015.P43.
- [88] « Définitions et principe de fonctionnement d'une station d'épuration. - Définitions et principe de fonctionnement d'une station d'épuration. », Centre d'hygiène et de salubrité publique, 2009. <http://www.hygiene-publique.gov.pf/spip.php?article61> (consulté le juin 14, 2020).
- [89] https://www.univ-chlef.dz/fsnv/wp-content/uploads/Cours-Qualit%C3%A9-et-traitement-des-eaux-Mr.-Toubal-_M1-Eau-Environnement.pdf.
- [90] O. Yayapao, T. Thongtem, A. Phuruangrat, S. Thongtem, Ultrasonic-assisted synthesis of Nd-doped ZnO for photocatalysis, Mater. Lett. 90 (2013) 83–86, <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2012.09.027>.
- [91] Puziy A.M, Poddubnaya O.I, Martinez-Alonso A, Suarez-Garcia F, Tascon J.M.D., Synthetic carbons activated with phosphoric acid I. Surface chemistry and ion binding properties, Carbon, 2002, 40, p.1493-1505.

Résumé

Ce travail montre que la disponibilité d'une bonne eau est nécessaire pour améliorer la qualité de vie à l'heure actuelle, en raison de la demande croissante en eau et considérant que la prochaine guerre est pour l'eau. L'utilisation des eaux usées à des fins agricoles est devenue une politique concerne le secteur des ressources en eau.

Dans le but de respecter les Nouvelles limites de rejets réglementaires de plus en plus strictes, un système hybride basé sur la photocatalyse-l'adsorption sur des matériaux adsorbants locaux écologiques et moins coûteux comme le charbon actif préparé à partir des résidus agricoles (les noyaux d'olive).

Dans lequel nous avons préparé deux séries hybride CAO/ZnO et CA/CuO avec des Pourcentage différent :0%,10%,20%,50%,80% afin de tester les plus efficaces dans Notre système hybride. Lors du traitement de l'eau sortie de STEP Ghazal de MSILA, nous avons traité l'adsorption en pièce sombre puis la photocatalyse sous les Rayons UV-Visible. Et nous avons fait les analyses nécessaires, qui ont été très satisfaisantes.

Les mots clés : la pollution, les eaux usées, station d'épuration, adsorption, photocatalyse, charbon active.

ملخص

يوضح هذا العمل أن توافر المياه الجيدة ضروري لتحسين نوعية الحياة في الوقت الحاضر، بسبب الطلب المتزايد على المياه، مع الأخذ في الاعتبار أن الحرب القادمة هي المياه. أصبح استخدام المياه المستعملة للأغراض الزراعية من الاهتمامات السياسية في قطاع الموارد المائية.

من أجل الامتثال لحدود التفريغ التنظيمية الصارمة الجديدة، نظام هجين يعتمد على التحفيز الضوئي - الامتزاز على مواد ماصة بيئية محلية وأقل تكلفة مثل الكربون المنشط المحضر من المخلفات الزراعية (عظام الزيتون).

حيث قمنا بإعداد سلسلتين مهجنتين CAO / ZnO و CA / CuO بنسب مختلفة: 0%، 5%، 10%، 20%، 50%، 80%

من أجل اختبار الأكثر فعالية في نظامنا الهجين أثناء معالجة المياه المستعملة الخاصة بمحطة معالجة المياه غزال المتواجدة بالمسيلة

عالجنا الامتزاز في الغرفة المظلمة ثم التحفيز الضوئي تحت الأشعة فوق البنفسجية المرئية وقمنا بالتحليلات اللازمة والتي كانت مرضية للغاية

الكلمات المفتاحية: التلوث، المياه المستعملة، محطة الصرف الصحي، الامتزاز، التحفيز الضوئي، الكربون المنشط.

Abstract

This work shows that the availability of good water is necessary to improve the quality of life at present, due to the increasing demand for water and considering that the next war is for water. The use of wastewater for agricultural purposes has become a policy concern in the water resources sector.

In order to comply with the new increasingly strict regulatory discharge limits, a hybrid system based on Photocatalysis-adsorption on local ecological and less expensive adsorbent materials such as activated carbon prepared from agricultural residues (nuclei olive).

In which we prepared two series hybridized CAD/ZnO and CA/CuO with different Percentage: 0%, 5%, 10%, 50%, 80%, in order to test the most effective in Our hybrid system. During the treatment of water leaving STEP Ghazal of MSILA, we treated the adsorption in dark room then the Photocatalysis under the UV-Visible Rays. And we did the necessary analyses, which were very satisfactory.

Key words: pollution, used water, sewage station, adsorption, photocatalysis, activated carbon